

П. ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СИСТЕМ

УДК 621.452:681.521.34

Е.А.Вакулич, С.В.Гамов, А.Е.Жуковский, Е.Ю.Мордвинцев

ОПЫТ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ДЕФЕКТА АКСИАЛЬНО-ПЛУНЖЕРНОГО ГИДРОНАСОСА

Применительно к маслonaсосной станции рассмотрены алгоритм диагностики аксиально-плунжерного гидронасоса, а также разработанная на базе данного алгоритма система технической диагностики.

В настоящее время в практику эксплуатации гидросистем (ГС) внедряются новые прогрессивные методы эксплуатации: по техническому состоянию и по остаточному ресурсу. Это приводит к необходимости развития методов и средств диагностирования, позволяющих выявить отдельные дефекты в агрегатах на ранней стадии их развития.

Одним из наиболее ответственных элементов ГС и, одновременно, наименее надежным, является аксиально-плунжерный гидронасос высокого давления. Наиболее низкой надежностью у аксиально-поршневого гидронасоса обладает качающий узел, типовым дефектом которого является увеличение сверхдопустимого по техническим условиям значения зазора между подпятником плунжера и наклонной шайбой. Следствием этого является повышение механических напряжений деталей качающего узла, что является причиной их деформации, а это, в свою очередь, может привести к разрушению самого насоса. В качестве параметров, которые в настоящее время наиболее широко применяются для контроля работоспособности насоса, рассматриваются величины выходного давления и расхода жидкости. Если учесть, что практически до момента разрушения насос сохраняет указанные величины прак-

Динамические процессы в установках ЛА. Куйбышев, 1990.

тически постоянными, то становятся ясны трудности диагностирования насоса по данным параметрам. Из указанного выше следует, что разработка алгоритмов, позволяющих вести обнаружение указанного дефекта на стадии зарождения, является достаточно важной задачей.

С большой остротой проблема диагностики стоит применительно к маслонасосным станциям (МНС), которые оснащены несколькими насосами и обладают разветвленной ГС. Несмотря на то, что в основу таких станций заложено дублирование, разрушение любого насоса в связи с данным дефектом приводит к остановке всей станции, так как происходит засорение ГС станции продуктами разрушения.

При диагностировании агрегатов ГС одним из эффективных является метод, основанный на анализе пульсаций давления рабочей жидкости. Пульсация несет первичную информацию о элементах агрегатов, непосредственно соприкасающихся с рабочей жидкостью, что может являться определяющим для широкого круга диагностических задач. В настоящее время имеется ряд работ, посвященных решению проблемы диагностики аксиально-поршневых гидронасосов с использованием в качестве диагностического сигнала пульсаций давления в нагнетающей магистрали. В работах показано следующее:

спектр пульсаций давления имеет линейчатую структуру с частотами составляющих, кратными плунжерной (частота вращения вала ротора, умноженная на количество плунжеров) [1];

амплитуды отдельных спектральных составляющих чувствительны к величине зазора [2].

Предложенные выводы позволяют наметить путь к решению поставленной задачи.

Введем в рассмотрение полигармоническую модель сигнала (пульсации давления) в виде

$$p(t) = \sum_{i=1}^N A_i \sin(\omega_{пл} i t + \varphi_i),$$

где $p(t)$ — мгновенное значение величины пульсаций давления; A_i — амплитуда гармонической составляющей спектра номер i ; $\omega_{пл}$ — плунжерная частота; φ_i — начальная фаза колебаний i -й гармоники.

Общее число рассматриваемых составляющих N выбирается из условия точности моделирования сигнала. Для пульсаций давления, которые на практике имеют ограниченный спектр, достаточно в модели

предусмотреть десять составляющих, так как амплитуды гармоник более высоких частот имеют малую величину и фактически сливаются с шумами и помехами в измерительной цепи.

Наличие чувствительности амплитуды i -й гармоники к зазору d в данном случае выразится как

$$d = f(A_i).$$

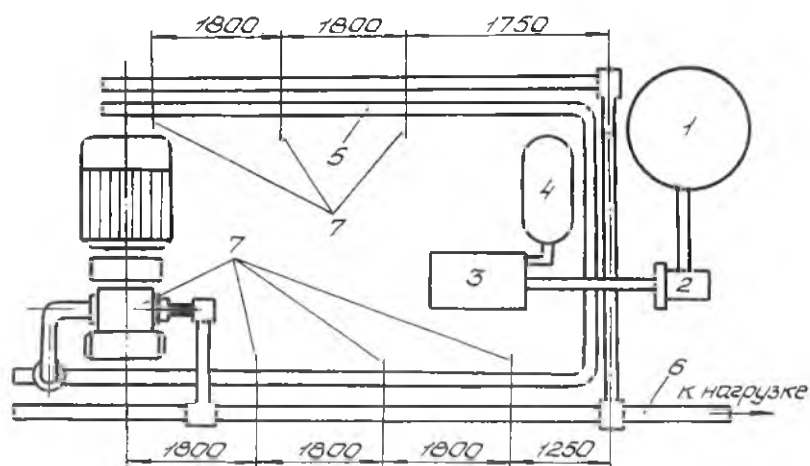
Установление конкретного вида указанной связи производится статистическими методами на основании анализа экспериментально полученной информации о спектрах насосов рассматриваемого типа с различными величинами зазоров. Связь носит корреляционный характер вследствие влияния на пульсации давления различных дестабилизирующих факторов и помех.

Специфика процедуры диагностики насосов в условиях их функционирования в составе МНС заключается в том, что при одновременной работе нескольких насосов на общую магистраль высокого давления происходит суммирование пульсаций от отдельных насосов. При этом придется выделять пульсации давления от конкретного насоса либо необходимо принять меры по устранению взаимовлияния насосов. Необходимо также решение вопроса о снижении влияния дестабилизирующих факторов на пульсации давления.

В качестве конкретного примера рассмотрим решение задачи создания автоматизированной системы диагностики насосов МНС, упрощенная гидравлическая схема которой приведена на рис. 1. Станция оснащена семью аксиально-поршневыми гидронасосами типа РНА 250/320, представляющими собой девятиплунжерные насосы переменной производительности с наклонной шайбой. Отсутствие надежных подходов, позволяющих провести моделирование работы насоса в составе МНС для различных технических состояний качающего узла, определили экспериментальный метод исследования.

В процессе исследования решались вопросы формирования условий проведения диагностического эксперимента, конкретизации модели дефекта, выработки диагностических параметров и признаков.

Метод ориентирован на анализ пульсаций давления в магистральных насосов станции. Для измерения давления использовались индуктивные датчики давления типа ДДИ-20 и усилитель-преобразователь типа 4АНЧ-22. Выходной сигнал усилителя в аналоговом виде фиксировался регистратором информации на магнитной ленте.



Р и с. 1. Схема гидросистемы МНС: 1 - расщепленный бак; 2 - насос подкачки; 3 - блок фильтров; 4 - маслоохладитель; 5 - подкачивающая магистраль; 6 - магистраль нагнетения; 7 - гидронасос

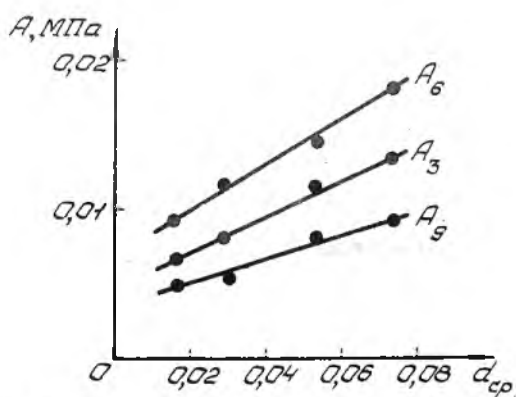
Накопленная подобным образом информация далее вводилась в ЭВМ, где производился спектральный анализ на основе программы быстрых преобразований Фурье.

Целью предварительной серии экспериментов являлось определение условий проведения диагностического эксперимента. Исходя из опыта работы был выделен гипотетический круг факторов, оказывающих влияние на диагностический параметр. Было установлено, что одновременная работа двух и более насосов приводит к возникновению низкочастотных колебаний, возникающих вследствие суммирования пульсаций от насосов, имеющих некоторое отличие в частотах вращения вала ротора. Уровень статического давления на выходе насоса в значительной степени влияет на амплитуду спектральных составляющих пульсаций. Уровень входного давления (давление подкачки) в пределах, оговоренных техническими условиями, сколь-либо заметно влияния на пульсации не оказывает. Изменение величины расхода жидкости значительно влияет на пульсации, причем не только на амплитуды составляющих, но и на весь спектр в целом, изменяя его общий вид. Данный эффект связан с изменением угла наклона наклон-

ной шайбы при изменении производительности насоса вследствие изменения расхода. Сказанное позволяет определить условия проведения эксперимента и требования в процессе измерения пульсаций давления:

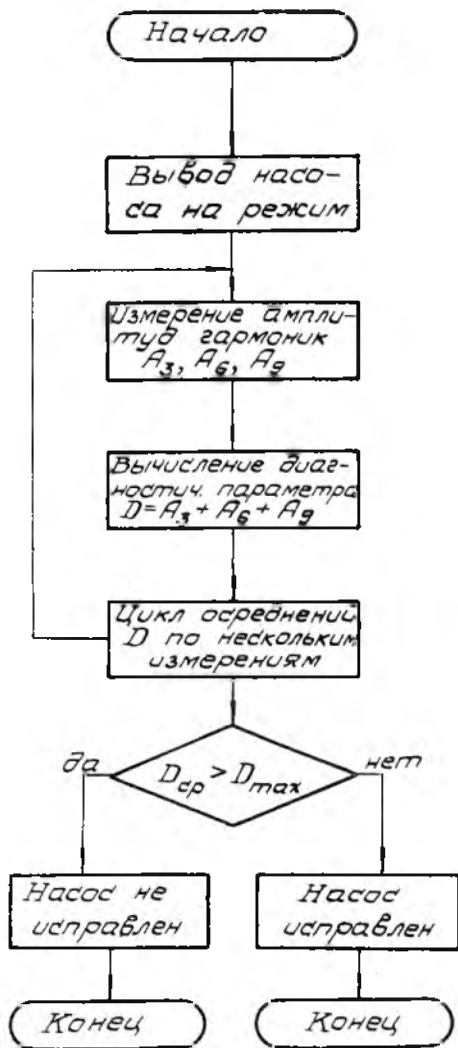
- 1) устранение взаимовлияния насосов путем испытаний каждого из них в отдельности;
- 2) поддержание постоянным уровня выходного давления насоса;
- 3) поддержание постоянной величины расхода жидкости.

Основная серия экспериментов проводилась с учетом перечисленных выше требований и была направлена на выделение диагностических частот спектра пульсаций давления, обладающих чувствительностью к величине зазора. Было установлено, что спектральные составляющие с частотами 660, 1320, 1980 Гц (соответственно 3, 6, 9-я плунжерные частоты) обладают чувствительностью к средней величине зазора. На интервале изменения зазора, соответствующем как его номинальному значению, так и критическому, их амплитуды монотонно возрастают (рис. 2). Амплитуды прочих спектральных составляющих с частотами, отличными от указанных, упорядоченной зависимости от величины зазора не проявили.



Р и с. 2. Зависимость амплитуд спектральных составляющих от величины среднего зазора

Из сказанного следует, что в качестве диагностического параметра следует ввести амплитуду (функцию от амплитуды) указанных частот, т.е. $D=f(A_i)$ при $i = 3, 6, 9$. Однако, учитывая тот



Р и с. 3. Блок-схема алгоритма диагностики

факт, что амплитуды гармоник A_3, A_6, A_9 имеют одинаковую по характеру связь с зазором, т.е. изменение зазора вызывает одинаковое по знаку изменение составляющих, а также то, что в условиях сигнала со случайными шумами точность определения суммарной оценки выше точности определения амплитуды отдельной гармоники, в работе принято использование в качестве диагностического параметра суммарного показателя d в виде

$$d = f(A_3 + A_6 + A_9).$$

Базируясь на проведенных исследованиях, разработан алгоритм диагностики насосов МНС, блок-схема которого представлена на рис. 3. Диагностирование насоса по данному алгоритму производится следующим образом. Заданный насос выводится на диагностический режим, при котором стабилизируются уровни выходного давления и расхода жидкости, а все другие насосы отключаются. Для данного насоса проводится измерение амплитуд A_3, A_6, A_9 и соответствующих спектральных

составляющих, исходя из значений которых вычисляется диагностический параметр D по формуле

$$D = A_3 + A_6 + A_9.$$

Для МНС аварийно-опасным является состояние, когда зазор в каком-либо насосе превышает допустимое значение. При этом каждый насос может находиться в одном из двух состояний — исправном с величиной зазора d в допуске, т.е. $d < d_{max}$, и неисправном при $d > d_{max}$. Таким образом, задача диагностики сводится к определению момента перехода какого-либо насоса станции в неисправное состояние.

С целью повышения точности параметр D осредняется по нескольким измерениям. Полученная таким образом величина D_{cp} сравнивается с пороговым значением D_{max} . Решение о неисправности насоса, т.е. решение о превышении зазором d допустимого значения d_{max} , принимается при выполнении условия $D_{cp} > D_{max}$.

Принимая за основу рассмотренный алгоритм, была создана система технической диагностики насосов. В состав системы входят датчики пульсации давления, усилитель-преобразователь, устройство диагностики, устройство управления, аналого-цифровой преобразователь и микроЭВМ.

В процессе работы системы датчики давления, установленные в выходных магистралях насосов, производят преобразование пульсаций давления в соответствующее изменение собственной индуктивности, которое посредством усилителя-преобразователя преобразуется в электрическое напряжение и усиливается. Данное напряжение поступает на вход диагностического устройства, в котором производится фильтрация гармоник, несущих диагностическую информацию, и их суммирование друг с другом. Полученный таким образом диагностический параметр D поступает на аналого-цифровой преобразователь, с выхода которого в цифровом виде вводится в ЭВМ. Принятая информация обрабатывается в ЭВМ по программе, которая включает в себя осреднение во времени значения диагностического параметра D и сравнение его с пороговым значением D_{max} . Выбор номера диагностируемого насоса производится оператором станции и по запросу вводится в ЭВМ. Подключение датчика давления, установленного на выбранном насосе, производится автоматически коммутатором датчиков, находящимся в диагностическом устройстве.

Коммутатор работает совместно с устройством управления, команды на которое подаются от ЭВМ.

Значение порога диагностического параметра D_{max} задается, исходя из величины максимально допустимого по техническим условиям зазора d_{max} . В процессе эксплуатации системы диагностики значение параметра D_{max} уточняется и корректируется, что в конечном итоге увеличивает срок безопасной эксплуатации насоса. Таким образом, созданную систему диагностики можно отнести к классу обучаемых систем.

Накопление информации позволяет строить временные зависимости изменения зазора и дополнять алгоритм блоком прогнозирования дальнейшего развития дефекта и остаточного ресурса насоса. Если алгоритм дополнить операцией накопления информации о значении параметра D в моменты отказа насоса, то становится возможным создание на этой базе самообучающейся системы, что приведет к увеличению точности работы системы.

В заключение следует отметить, что опыт создания автоматизированной системы технической диагностики может быть применен для решения задачи контроля ГС, содержащих в своем составе постоянно работающие аксиально-плунжерные гидронасосы.

Библиографический список

1. Вакулич Е.А., Гамов С.В., Мордвинцев Е.Ю. Диагностика технического состояния гидросистем по пульсационному состоянию // Динамические процессы в силовых и энергетических установках летательных аппаратов: Сб. науч. тр. Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1988. С. 96-100.

2. Диагностический признак качающего узла поршневого насоса, работающего в составе МНС /Вакулич Е.А., Гамов С.В., Жуковский А.Е. и др. Деп. в ВИНТИ, 1989. № 288. 7 с.