

Система автоматической диагностики насосных агрегатов с центробежными насосами

Ю.М. Поспеев, А.В. Савчиц

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: В статье рассматривается параметрический метод диагностики насосного агрегата. Описываются общеизвестные методы диагностики, приводится сравнение методов. Параметрический метод позволяет на основе общедоступной информации в технологическом процессе перекачки жидкости определять текущее состояние насосного агрегата. В статье приводится математическая модель системы преобразователь частоты, двигатель, насос. Приводится пример изменения коэффициентов диагностической модели. **Ключевые слова:** центробежные насосы, методы, диагностика, параметры, математическая модель, коэффициент, диагностическая модели.

Центробежные насосы являются одним из наиболее используемых типов насосов почти во всех отраслях производства. Они применяются в пищевой, химической, нефтяной промышленности и т.д., а также в водо- и теплоснабжении городских систем [1].

Насосные станции классифицируются по назначению, по требуемой надежности действия и т.д.

По надежности действия централизованные системы водоснабжения согласно нормам, подразделяют на следующие категории (СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84):

1. Первая категория. Допускается снижение подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды не более 30% расчетного расхода и на производственные нужды до предела. Перерыв разрешен не более чем на 10 минут, за которое должны быть включены резервные насосные агрегаты.

2. Вторая категория. Допускается снижение подачи воды не более чем на 30% при этом длительность снижения не должна превышать 10 суток. Перерыв в водоснабжении допустим не более чем на 6 часов

3. Третья категория. Допускается снижение подачи воды не более чем на 30% при этом длительность снижения не должна превышать 15 суток. Перерыв в водоснабжении допустим не более чем на 24 часов.

Для повышения надежности и безопасности машин и механизмов, а также снижения затрат на их эксплуатацию, широкое распространение получают системы мониторинга состояния и диагностики [2].

Наиболее распространенным методом диагностики является вибродиагностика [3-5]. Перед вибродиагностикой стоит задача использования неразрушающих методов. В связи с этим нашел свое применение интегральный метод неразрушающего вибрационного контроля, оценка показателей качества в котором осуществляется по некоторым обобщенным характеристикам (форме, частоте, логарифмическому декременту колебаний и др.) (ГОСТ Р ИСО 13373-1-2009 Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 1. Общие методы). Вибродиагностика подразделяется на два основных метода: метод широкополосной вибрации и частотный анализ. Метод широкополосной вибрации предполагает установку датчиков на насосный агрегат и получение данных с них. По этим данным строят тренд, по которому определяет границы вибрации для данного агрегата. Используются следующие уровни состояния насосного агрегата: предупреждение и останов. Как правило, при достижении уровня ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ допускается работа насоса в течение некоторого периода времени, пока проводят исследования причин изменения вибрации и определяют комплекс восстановительных мероприятий (ГОСТ Р 55265.7— 2012 Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 7. Насосы динамические промышленные). Уровень останов является граничным. При достижении уровня ОСТАНОВ следует принять немедленные меры по снижению вибрации или остановить

машину (ГОСТ ИСО 10816-3-2002 Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 3. Промышленные машины номинальной мощностью более 15 кВт и номинальной скоростью от 120 до 15000 мин⁻¹). Данный метод не позволяет диагностировать саму причину повышенной вибрации.

Частотный анализ в отличие от метода широкополосной вибрации позволяет определить причину вызвавшую превышение вибрации. Для этого необходимо разделить широкополосный сигнал на отдельные частотные составляющие, которые характеризуются своими амплитудами и фазами. Дисбаланс (механической или тепловой), автоколебания, трение движущихся частей, дефекты сопряжений, повреждения подшипников и зубчатых передач, трещины в роторе и др. неисправности могут быть выявлены по дискретным частотным составляющим [6]. Однако, помимо установки дополнительных датчиков, метод является затратным по отношению к вычислительным ресурсам.

В качестве метода вибродиагностики опишем достоинства использование «опорной маски». Наложение маски позволяет:

- сделать вывод о принадлежности данной ЭПА тому или иному типоразмеру;
- обосновать мнение эксперта о техническом состоянии оборудования;
- выявить динамику и произвести прогноз состояния оборудования [7].

Рассмотрим статистику неисправностей насосных агрегатов. Применительно к основным насосам около 30 % всех отказов падают на торцовые уплотнения валов, 15 % – на подшипники, 9 % - на маслосистему [8].

Типовым технологическим решением является управление насосных агрегатов частотными преобразователями, что позволяет регулировать давление в системе. В таких системах контролируется ряд параметров таких

как давление до насоса, давление после насоса, ток, напряжение двигателя насоса, текущий расход. Измерение давления до насоса позволяет определить значение положительного нетто-напора на всасывающем патрубке. Кавитация в насосе возникает, когда существующий положительный нетто-напор на всасывающем патрубке насоса (NPSHA = Net Positive Suction Head–Available) меньше требуемого для насоса положительного нетто-напора на всасывающем патрубке насоса [9]. Измерение давления и расхода после насоса позволяет понять, что происходит отклонение в работе агрегата. Измерение напряжения и тока позволяет понять отклонения в работе двигателя. При этом данная информация не используется для детального анализа работы насосного агрегата. Зависимость параметров позволяет понять довольно сложные неисправности в работе машины.

Технологическую информацию можно использовать для диагностики машины. Существует параметрический метод диагностики [10]. Метод позволяет определить состояние машины без использования специализированных датчиков вибрации. Метод позволяет определить такие неисправности как кавитация, поломку лопаток рабочего колеса, отложение на всасе насоса, наличие воздуха в воде и т.д. Для реализации метода строится диагностическая математическая модель, основанная на статических и динамических уравнениях, описывающих физические объекты (преобразователь частоты, асинхронный двигатель, центробежный насос). Параметры и переменные состояния диагностической модели оцениваются с помощью алгоритмов непрерывной идентификации. По характеру изменения коэффициентов можно определить характер неисправности.

Математическая модель системы преобразователь частоты, двигатель, насос, трубопровод описывается уравнениями (1) – (4).

$$H(t) = \frac{\alpha_{Fd}Q(t)}{dt} + h_{rr}Q^2(t), \quad (1)$$

$$I_p \dot{\omega}(t) = M_{mot}(t) - M_{th}(t) - M_f(t), \quad (2)$$

$$M_{th}(t) = M_{th1} \omega(t) \dot{Q}(t) - M_{th2} \dot{Q}^2(t), \quad (3)$$

$$M_f(t) = M_{f0} \text{sign} \omega(t) + M_{f1} \omega(t), \quad (4)$$

Где $H(t)$ – расход насоса; α_F – гидравлическое сопротивление трубопровода; $Q(t)$ – расход насоса; h_{rr} – коэффициент гидравлического сопротивления; I_p – момент инерции насоса; $\omega(t)$ – угловая скорость двигателя; $M_{mot}(t)$ – момент двигателя; $M_{th}(t)$ – теоретический момент насоса; $M_f(t)$ – момент сопротивления; M_{f0} – Кулоновское трение; M_{f1} – вязкое трение.

Изменение коэффициентов диагностической модели представлены в таблице (1).

Таблица №1

Изменение коэффициентов диагностической модели

Неисправность	Изменение коэффициентов			
	R1	R2	R3	R4
Неисправность расходомера	0	+ / ++	+ / ++	0
Неисправность датчиков давления	+ / ++	+ / ++	0	0
Утечки	+	+	+	0
Кавитация	+	++	++	+
Дефект лопаток	+	+	+	+

Метод позволяет проводить непрерывный анализ. Данный метод является не требовательным к вычислительным ресурсам и может быть реализован как на существующем программируемом логическим

контроллером, который управляет технологическим процессом, так и отдельным устройством. Преимуществом данного метода является получение данных с уже установленных технологических датчиков.

Для построения алгоритма непрерывного оценивания параметров модели наиболее перспективным являются методы идентификации, построенные на основе расширенного пространства состояния и одновременного оценивание параметров и состояния, таких как использование расширенного фильтра Калмана, либо методов инвариантного погружения.

Таким образом, данный метод представляется перспективным для исследования и построения эффективных, не дорогих и не ресурсоемких систем диагностики насосного агрегата.

Литература

1. Muralidharan V., Sugumaran V., Indira V. Fault diagnosis of monoblock centrifugal pump using SVM // Engineering Science and Technology, an International Journal. - 2014. - №17. - pp. 152-157.
2. Вибродиагностика: Моногр. / Розенберг Г.Ш., Мадорский Е.З., Голуб Е.С. и др.; Под ред. Г.Ш. Розенберга. – СПб.: ПЭИПК, 2003. – 284 с.
3. Писарев В., Ваганов А., Денисенко А., Тютюрев И. Техническое обслуживание и ремонт металлообрабатывающих станков с ЧПУ на основе безразборной диагностики технического состояния // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2014. - №1. - С. 508-514.
4. Ишметьев Е., Панов А., Романенко А., Васильев Е., Коробейников С. Опыт применения автоматизированных стационарных систем виброконтроля и вибродиагностики // Электротехнические системы и комплексы. - 2014. - №1. - С. 56-58.



5. Герике Б., Герике П. Распознавание эксплуатационных дефектов ленточных конвейеров методами вибродиагностики // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2009. - №1. - С. 77-83.
6. Кадомцев М.И., Шатилов Ю.Ю., Жигульская Ю.И. Вибродиагностика строительных конструкций // Инженерный вестник Дона, 2012, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/941
7. Абидова Е.А. Применение опорной маски спектра сигнала электродвигателя арматуры для диагностирования неисправностей // Инженерный вестник Дона, 2009, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2009/110
8. Кумар Б. К., Ботаханов Е. К. Эксплуатация насосных и компрессорных станций – Алматы: КазНИТУ имени К. И. Сатпаева, 2015. - 392 с.
9. Лезнов Б. С Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. — М.: Машиностроение, 2013. — 176 с.
10. Isermann R. Fault-Diagnosis Applications. Model-Based Condition Monitoring: Actuators, Drives, Machinery, Plants, Sensors, and Fault-tolerant Systems. – London, 2011 – 354 p.

References

1. Muralidharan V., Sugumaran V., Indira V., 2014. Engineering Science and Technology, an International Journal, 17, pp. 152-157.
 2. Вибродиагностика [Vibration diagnostics]: Monogr. Rozenberg G.SH., Madorskii E.Z., Golub E.S. i dr.; Pod red. G.SH. Rozenberga. SPB.: PEIPK, 2003. – 284 p.
 3. Pisarev V., Vaganov A., Denisenko A., Tyterev I. Izvestie Samarskogo nauchnogo centra Rossiiskoi akademii nauk, 2014, №1, pp. 508-514.
 4. Ishmetev E., Panov A., Romanenko A., Vasilev E., Korobeinikov C., Elektrotexnicheskie sistemu i kompleksu, 2014, №1, pp. 56-58.
-



5. Gerike B., Gerike P., Gornui informacionno-analiticheskii bylleten, 2009, №1, pp. 77-83.
6. Kadomcev M.I., Shatilov Y.Y., Zhigylyskay Y.I. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/941.
7. Abidova E.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2009, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2009/110.
8. Kumar B. K., Botahanov E. K. Eksplyatacia nacocnuh i kompressornuh stancii [Operation of pumping and compressor stations]. Almatu: KazNITY imeni K. I. Satpaeva, 2015. - 392 p.
9. Leznov B. C Chastotno-reguliruemui electroprivod nacocnuh ystanovok [Frequency-controlled electric drive of pumping units]. M.: Machunostroenie, 2013. — 176 p.
10. Isermann R. Fault-Diagnosis Applications. Model-Based Condition Monitoring: Actuators, Drives, Machinery, Plants, Sensors, and Fault-tolerant Systems. London, 2011 – 354 p.