

ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ НАСОСОВ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИХ НАДЕЖНОСТЬ

П. А. Цыганов, К. А. Богачев (научный руководитель)

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
101000, Москва, ул. Мясницкая, 20
E-mail: patsyganov@edu.hse.ru*

Рассматривается модель интенсивности отказов насосов. Оценивается влияние эффектов кавитации и вихревания, а также различных конструктивных факторов на работу насоса и его надежность.

Данное научное исследование (№ 14-05-0038) выполнено при поддержке Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2014 г. Насосы - один из наиболее часто используемых механических компонентов в технических устройствах, которые в значительной степени определяют их надежность [1]. В настоящее время в системах охлаждения радиоаппаратуры применяются огромное количество насосов разнообразных типов. Такое разнообразие приводит к необходимости рассмотрения многочисленных методов расчета их показателей надежности [2, 3].

Важным параметром этого класса устройств является интенсивность отказов насоса (λ_n), которая рассчитывается по формуле [4]:

$$\lambda_n = \lambda_y + \lambda_b + \lambda_{\text{п}} + \lambda_k + \lambda_{\text{рч}}, \quad (1)$$

где λ_y - интенсивность отказов всех уплотнителей; λ_b - интенсивность отказов вала насоса; $\lambda_{\text{п}}$ - интенсивность отказов подшипников; λ_k - интенсивность отказов корпуса насоса; $\lambda_{\text{рч}}$ - интенсивность отказов рабочей части.

Вал насоса имеет очень высокую надежность в отличие от других компонентов насоса. Интенсивность отказов вала насоса в среднем в 8 раз ниже интенсивности отказов уплотнителей и в 3 раза ниже, чем у шарикового подшипника. Возможность разрушения вала насоса независимо от других компонентов насоса весьма мала. Тем не менее, вал насоса подвержен серьезным нагрузкам и необходимо подбирать правильный режим работы насоса, чтобы не допустить высоких нагрузок, которые могут вызвать смещение, деформацию или прогиб вала и его повышенный износ. Деформация вала насоса возможна при потоке жидкости, отличном от номинального. Если поток жидкости не оптимален для данного насоса, то крыльчатка насоса испытывает повышенную нагрузку. Из-за разницы давлений в рабочей области возникает дисбаланс и отклонение вала.

Корпус насоса достаточно надежный компонент. Интенсивность его отказов достаточно низка относительно других компонентов насоса. Срок службы корпуса насоса может достигать до 10 лет, в отличие от подшипников, у которых средний срок службы составляет 1-2 года. При правильном проектировании корпуса его интенсивность отказов может составлять $0,001 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$.

Подшипники наиболее уязвимая часть насоса. Хотя они и являются недорогими компонентам, выход из строя насоса по их вине ведет к дорогостоящему простоя всей системы, который может привести к значительным затратам. Короткий срок службы подшипников в насосе вызван рядом проблем, таких как разбалансировка вала, ротора, недостаток смазки, чрезмерная температура, наличие влаги в корпусе насоса.

Рабочая часть насоса - это механизм, предназначенный для переноса жидкости со входа насоса на его выход. Так как механизмы в каждом типе насосов различны, то их интенсивность отказов сильно варьируется. Например, поршневые насосы должны иметь большую стойкость к циклическим нагрузкам, в отличие от роторных насосов [5].

На надежность насоса оказывают большое влияние различные факторы, наиболее опасными из которых являются эффекты кавитации и вихревания. Эффект кавитации - это образование пузырьков газа в жидкости и их дальнейшее схлопывание из-за воздействия подвижных частей насоса. Эффект кавитации возникает в областях пониженного давления.

Такие области в насосе возникают, например, в местах искривления трубопроводов. В таких местах скорость потоков жидкости различна и из-за различия скоростей возникают турбулентные зоны, которые и приводят к образованию пузырьков. Схлопывание пузырьков ведет к повышению вибрации и акустическим ударам. Этот эффект весьма опасен, поскольку приводит к повреждению вала, ротора и рабочей части насоса. В насосах эффект кавитации может быть легко обнаружен и устранен изменением конфигурации трубопроводов [6].

Вихревание в центробежных насоса вызвано недостаточной высотой жидкости во входном трубопроводе или неправильным потоком жидкости. Вихревание приводит к понижению производительности насоса, вибрациям и шумной работе и схоже с эффектом кавитации, с той разницей, что вихревание - обратимый эффект. Вихревания можно избежать изменением потока жидкости или повышением давления в трубопроводе.

К менее опасным факторам относятся интерференция и коррозия. Эффект интерференции - это расширение частей насоса из-за нагрева во время работы. Тепловое расширение является опасным, если материалы, из которых изготовлен насос, подобраны неверно. Для центробежного насоса интерференция опасна при возникновении эффекта кавитации, которая вызывает вибрации и дисбаланс насоса. Проблема интерференции решается правильным подбором деталей с учетом их механических и тепловых свойств.

Таким образом, в математическую модель интенсивности отказов насоса (1) включены интенсивности отказов компонентов насоса. Для того чтобы выполнить расчет надежности насоса, необходимо провести расчеты интенсивностей отказов всех его компонентов с учетом внешних, технологических и эксплуатационных факторов, влияющих на надежность насоса.

Список литературы

1. Маркин, А.В. Методы оценки надежности элементов механики и электромеханики электронных средств на ранних этапах проектирования. / А.В. Маркин, С.Н. Полесский, В.В. Жаднов. // Надежность. - 2010. - № 2. - с. 63-70.
2. Жаднов, В.В. Методы и средства оценки показателей надежности механических и электромеханических приборов и систем. / В.В. Жаднов. // Датчики и системы. - 2013. - № 4. - с. 15-20.
3. Zhadnov, V. Methods and means of the estimation of indicators of reliability of mechanical and electromechanical elements of devices and systems. / V. Zhadnov. // Reliability: Theory & Applications: e-journal. - 2011. - Vol. 2, No 4. - p. 94-102.
4. NSWC-11. Handbook of reliability prediction procedures for mechanical equipment.
5. Жабо, В.В., Гидравлика и насосы. / В.В. Жабо, В.В. Уваров. - М.: Энергия, 1977. - 280 с.
6. Карелин, В.Я. Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах. / В.Я. Карелин - М.: Машиностроение, 1975. - 336 с.