

Шомайрамов М.А. —
Зам. Начальника Управления насосных станций,
энергетики и связи
Министерства сельского и водного хозяйства
Республики Узбекистан

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КРУПНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ СИСТЕМЫ МАШИННОГО ВОДОПОДЪЕМА

В связи с исчерпанием ресурса оборудования большинства крупных насосных станций (НС) до 50...55% проблема совершенствования надежностью становится чрезвычайно актуальной.

Износ элементов проточных трактов насосных агрегатов (НА) в процессе эксплуатации вследствие кавитации и истирания взвешенными наносами приводит к ухудшению режимов работы. Ремонтные работы по устранению последствий износа деталей проточной части требуют значительных затрат труда и материалов [1].

Система диагностирования насосов позволяет увеличить эксплуатационную надежность путем предотвращения монтажа дефектных деталей, уточнения объемов предстоящих ремонтных работ для восстановления работоспособности агрегатов.

Для оценки надежности объектов выполняют следующее:

- проводят анализ возможных отказовых ситуаций. При отсутствии соответствующих данных анализ проводят, используя информацию по отказовым ситуациям аналогичных объектов;
- строят модели отказов по вероятной оценке появления конкретных отказовых ситуаций.

Проводят схематизацию системы и внешних воздействий;

- выбирают наиболее рациональные количественные признаки на основе моделей отказов. Выбор осуществляется на основе технико-экономических соображений с учетом технологических, эксплуатационных и других требований;

- устанавливают расчетом средние значения по данным аналогичных объектов, средние квадратические отклонения и корреляционные моменты предельных и действующих значений количественных признаков;

- устанавливают количественные показатели надежности элементов (объектов) методами, изложенными в [1, 2]. Функция надежности определяется как результат учета ряда факторов: внешней среды, технологических свойств систем, эксплуатационных требований и т. д.;

- сравнивают полученные показатели надежности объектов с требуемыми по техническим условиям показателями надежности [1]

$$P_{расч} \geq P_{тр} \quad (1)$$

где $P_{расч}$ — расчетное значение нижней границы оценки вероятности безотказной работы;
 $P_{тр}$ — требуемое значение вероятности безотказной работы.

Когда условие (1) не выполняется, требование по надежности считается невыполненным и необходимо провести доработку, которая обеспечит выполнение соотношения.

При оценке параметрической надежности условие надежности записывается следующим образом:

$$П \geq В \quad (2)$$

где $П$ — потенциальная способность конструкции противостоять внешним воздействиям;
 $В$ — внешнее воздействие.

Неравенство (2) может выражать условие надежности объекта по любому предельному состоянию (устойчивость, несущая способность, деформативность и т. д.).

V может выражать как внешние воздействия, так и возникающие от них деформации. В общем случае все расчеты объекта, обеспечивающие его надежную работу, могут быть сведены к равенству

$$Y_1 - Y_2 \geq 0 \quad (3)$$

где Y_1 — сумма внутренних факторов, характеризующая несущую способность (или предел допустимой деформации и т. д.);

Y_2 — сумма внешних факторов, характеризующая действующие нагрузки при их наиболее невыгодном сочетании.

Тогда надежность объекта определится вероятностью значений больше нуля

$$P = P(v \geq 0) \quad (4)$$

Когда известно соотношение $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ и закон распределения случайных величин x_i , то моменты распределения случайных величин устанавливают по известным зависимостям; по этим данным определяют показатель надежности P .

Поток отказов сопрягающих сооружений крупной НС в общем виде можно определить многопараметрической функцией, которая имеет такой вид:

$$\omega(\tau) = f[\omega_z(\tau), \omega_{pz}(\tau), \omega_{kn}(\tau), \omega_{zz}(\tau), \omega_{kl}(\tau), \omega_3(\tau), \omega_n(\tau)] \quad (5)$$

где $\omega_z(\tau)$ — обобщенный параметр гидравлических условий;

$\omega_{pz}(\tau)$ — условий размыва или заиления;

$\omega_{kn}(\tau)$ — конструктивной надежности;

$\omega_{zz}(\tau)$ — геологических и геотехнических условий канала;

$\omega_{kl}(\tau)$ — климатических условий;

$\omega_3(\tau)$ — условий эксплуатации;

$\omega_n(\tau)$ — неучтенных приведенным перечнем факторов.

Каждый обобщенный параметр может быть расчленен на отдельные параметры. Так, обобщенный параметр конструктивной надежности НС может быть представлен как функция отдельных параметров.

$$\omega_{kn}(\tau) = f[\omega_{pac}(\tau), \omega_{cx}(\tau), \omega_{mex}(\tau)] \quad (6)$$

где $\omega_{pac}(\tau)$ — параметр совершенства приемов расчета;

$\omega_{cx}(\tau)$ — параметр совершенства схемы НС;

$\omega_{mex}(\tau)$ — параметр совершенства технологии.

Вероятность безотказной работы крупной НС (рассматривая НС как последовательное соединение с точки зрения теории надежности) можно записать следующим образом:

$$P_{кк}(t) = P_1(t) P_2(t) \dots P_n(t) \quad (7)$$

где $P_1(t), P_2(t), \dots, P_n(t)$ — вероятности безотказной работы при названных выше, а также других, не перечисленных параметрах (факторах).

При оценке надежности работы крупной НС, когда она обрабатывает с перерывами, можно использовать формулу для расчета готовности объекта

$$K_z = \frac{T_{\bar{o.o.}}}{T_{\bar{o.o.}} + T_{\bar{e}}} \quad (8)$$

где $T_{\bar{o.o.}}$ — среднее время безотказной работы;
 $T_{\bar{e}}$ — время восстановления НС (или другого элемента).
 Коэффициент профилактики

$$K_{np} = \frac{T_{\bar{e}}}{T_{\bar{o.o.}}} \quad (9)$$

В общем виде работоспособность крупной НС приближенно можно охарактеризовать одним общим определяющим параметром (например, I). Для различных объектов, как было отмечено, обобщенным параметром I может быть напряжение от нагрузок, градиент фильтрации, параметр обрушения откосов и т. д. В нашем случае это может быть параметр, определяющий размыв или заиливание, или обрушение откосов и т. д. Область безотказных состояний объекта определяется условием $I_d < I_{np}$, область отказов — $I_d > I_{np}$. Условие вероятности безотказности при этом можно представить как:

$$\text{Вер}\{I_{np} - I_o = u > 0\} \quad (10)$$

где I_{np} — предельное значение определяющего параметра, при котором наступает отказ;
 I_d — действующее при обычной эксплуатации значение параметра, при котором объект функционирует безотказно.

При этом особое значение приобретают установление безопасных режимов переходных процессов в каналах, сифонах и трубопроводах на каскадах НС, оценка влияния наносов, содержащихся в перекачиваемой воде, на работоспособность оборудования станций, разработка эффективных средств борьбы с плавающим мусором.

Полученные количественные зависимости позволяют оценивать взаимное влияние конструкций гидротехнических элементов узла машинного водоподъема и работы насосов. В первую очередь это относится к важнейшему элементу — аванкамере насосной станции. Ее конструкция придает потоку определенную гидравлическую структуру, влияющую на основные параметры агрегата. Расчеты движения потока в аванкамере сложны из-за необходимости описания турбулентных движений при резком расширении русла. Эта сложность усугубляется еще и тем, что НС работают с широким диапазоном подач, и каждая новая комбинация насосов приводит к изменению скоростной структуры потока. Особенно неблагоприятен (с гидравлической точки зрения) переход от режима частичной работы насосов, когда растекание потока сопровождается сбийными течениями с высокой степенью концентрации расхода у одной из боковых стенок, к форсированной подаче всеми насосами.

Если представить НС как совокупность последовательно соединенных элементов, отказ одного из которых приводит к отказу всего комплекса, то на элементы подводящих устройств приходится значительная статистическая часть распределения вероятности отказов в работе.

К закономерным отказам можно отнести выход из строя рабочих колес насосов из-за абразивного и кавитационного износов лопастей, а также их трения (задевания) о внутреннюю поверхность камеры, что иногда приводит к обрыву лопастей и аварии с поломкой корпусных частей насоса. Эксплуатационная надежность НА зависит также от состояния выправляющего аппарата, износа посадочного места и вкладышей подшипников насосов и т. д.

Поэтому наряду с вопросами специального конструктивного решения по усилению узлов, подверженных наиболее интенсивному износу, необходимо методами диагностирования уточнять степень влияния каждого элемента на долговечность работы агрегата[2].

Значительное внимание в эксплуатации НС уделяется технической диагностике, то есть определению технического состояния НА без его разборки. Необходимость создания системы диагностирования НА диктуется характером эксплуатации, и требованием безостановочной работы всех НА.

В большинстве случаев появление дефектов на работающем агрегате сопровождается увеличением общего уровня вибрации, что может служить диагностическим признаком первой очереди системы диагностики. Например, при отрыве нижнего обтекателя рабочего колеса общий уровень вибрации по всем направлениям (вертикальному, радиальному и тангенциальному) возрастает. Однако при появлении дефектов механического характера в НА общий уровень может не увеличиваться, но произойдет перераспределение интенсивности вибрации по отдельным составляющим спектра. Следовательно, диагностическим признаком второй очереди диагностики будет оценка интенсивности составляющих спектра вибрации. Появление дефекта в НА не приводит сразу к аварийной ситуации, но достижение отдельными составляющими спектра вибрации интенсивностью $0,1 \text{ м/с}^2$ является признаком предаварийной ситуации.

Существенное значение в эксплуатации уделяется также работе сифонных водовыпусков и особенно клапанов срыва вакуума (КСВ) от которых в значительной степени зависит эффективность действия насосных агрегатов. Разрядка сифонов в случае негерметичности КСВ приводит к увеличению напора, снижению подачи и КПД насосов. Несвоевременное срабатывание КСВ на открытие при остановке усложняет условия работы насоса, служит причиной повышенной вибрации конструктивных узлов оборудования и здания НС.

Таким образом, надежность НС, в основном, зависит не только от технологической схемы и проектных решений, но и от системы контроля безопасности, правильно налаженной диагностики и эксплуатации.

При определительных испытаниях на надежность должны уточняться показатели надежности, сроки и объемы ремонтов, определяется потребность в запасных частях с целью внесения этих данных в техническую документацию. Определительные испытания проводят до возникновения необходимости капитального ремонта насоса или окончательного отказа, если насос не подвергается капитальному ремонту. Полученные в результате испытаний показатели надежности, сроки и объемы ремонтов должны быть внесены в техническую документацию взамен ранее внесенных ориентировочных.

Испытания на надежность являются наиболее длительным, так как они определяют наработку на отказ, обычно равную 4000-8000 ч., и наработку до капитального ремонта (20-30 тыс.ч.). Для этой цели выбирают подконтрольные станции, где за работой насосов ведутся систематические наблюдения:

- Генеральные, в которые входит определение КПД и основных параметров и характеристик оборудования для выявления его качеств и свойств, и получения возможности более эффективного использования.
- Эксплуатационные, проводимые на основе результатов генеральных испытаний в период эксплуатации, для расширения полученных характеристик, для других условий работы агрегатов и выявления износа механизмов и состояния их после ревизии.
- Исследовательские испытания, носящие индивидуальный характер, направленные для дальнейшего повышения эффективности методов эксплуатации и усовершенствование конструкций.

В САНИИРИ, ТИИМ разработана программа совершенствования эксплуатации НС за счёт повышения КПД и других основных эксплуатационных параметров крупных НА.

Эксплуатационные допустимые отклонения параметров (эксплуатационные допуски) не учитывают погрешностей измерений. Браковочные эксплуатационные отклонения параметров представляют собой сумму эксплуатационного допустимого отклонения и предельно допустимого среднеквадратического отклонения средств измерений. Без указания эксплуатационных допусков нельзя задать и определить показатели долговечности, поскольку ресурс насоса становится неопределенным понятием.

Эксплуатационные допуски для любого динамического насоса должны устанавливаться на напор при номинальной подаче, максимальный КПД и на внешнюю утечку, а для некоторых насосов, кроме того, на вибрацию, время самовсасывания, сопротивление изоляции обмоток электродвигателя, люфт ротора, величину износа и др.

Трудности измерения параметров в условиях эксплуатации не являются основанием к тому, чтобы не устанавливать эксплуатационные допуски, так как потребитель без указания этих допусков не сможет правильно оценить эффективность работы насоса в системе.

Для обоснованного нахождения эксплуатационного допуска необходимо рассмотреть совместную работу насоса и системы.

Общее выражение для относительного эксплуатационного допустимого отклонения напора (в %):

$$\Delta_{E\mathcal{E}} = \frac{E_H - g h_0 - \xi_C g \left[\left(1 - \frac{\Delta Q_{\mathcal{E}}}{100} \right) Q_H \right]^2 + \frac{\Delta Q_{\mathcal{E}}}{100} Q_H \frac{dE}{dQ}}{E_H} \times$$

$$\times 100\% = \frac{\Delta Q_{\mathcal{E}} Q_H \left(2 \xi_C g Q_H - \frac{dE}{dQ} \right)}{E_H},$$

где E_H и Q_H – номинальные напор в м и подача в м³/с

h_0 – гидростатическая составляющая сопротивления системы, м

ξ_C – коэффициент полного гидравлического сопротивления системы, с²/м⁵

$\Delta Q_{\mathcal{E}}$ – относительное допустимое снижение подачи насоса при эксплуатации, %

При одинаковом допустимом падении подачи больший эксплуатационный допуск на напор будет у насосов, работающих в системах, где $h_0=0$, а меньший – в системах с малым гидравлическим сопротивлением. С другой стороны, большее допустимое отклонение напора могут иметь насосы с более «крутой» напорной характеристикой: осевые, вихревые.

Авторы предлагают посредством оценки показателей надежности указать «порог» безопасности эксплуатации НА, за пределами которого не гарантирована его безотказность. С 1997 г. в САНИИРИ проводится сбор информации о техническом состоянии НА по наиболее характерным типам насосов Центральноазиатского региона.

В результате обработки данных получены характеристики вероятности безотказной работы осевых насосов ОПВ 11-193Э и ОПВ 10 185Э (Куюмазарская НС) и ОПВ 11-260 (Каршинский каскад НС). Их сравнение показывает, что на всех осевых насосах самая низкая надежность у нижнего направляющего подшипника.

Совпадение кривых вероятности безотказной работы верхнего и нижнего подшипников не отражает действительной картины надежности, так как верхний подшипник, менее нагруженный, долговечнее, чем нижний. Статистические же данные сроков службы практически совпадают, так как при ремонтах оба подшипника чаще всего заменяются одновременно. Сроки службы нижних подшипников с лигнофольевыми вкладышами большинства насосов достигают 1500 ч., а с резиновыми несколько больше. Однако и эти данные несколько завышены, так как вкладыши заменяются, когда торцы лопастей рабочего колеса трутся об его камеру. Это приводит к износу торцов лопастей, увеличению щелевых потерь и уменьшению КПД.

Отказы рабочих колес осевых насосов обусловлены износом торцевой части лопастей при трении о поверхность камеры и недопустимо больших износах вкладыша нижнего направляющего подшипников. Внезапные отказы рабочих колес наблюдаются при отрыве болтов, соединяющих перо лопасти с цапфой. Такие отказы – случайные, и выявить их закономерность не всегда возможно. Характерным отказом рабочих колес осевых насосов в условиях Центральной Азии является выход из строя лопастей рабочего колеса вследствие абразивного износа их

поверхностей. Работоспособность рабочих колес нарушается также из-за отрыва нижнего обтекателя (слабая затяжка болтов крепления), кавитационного износа его втулки. Совокупность указанных отказов дает относительно низкое распределение вероятности безотказной работы рабочего колеса за время эксплуатации.

Контрольные испытания на надежность проводятся в следующей последовательности: обмеры и сборка, обкатка, предварительная проверка работоспособности, параметрические испытания; разборка и оценка состояния; длительные испытания, разборка и обмеры.

У некоторых насосов, преимущественно крупных, причиной выхода из строя может стать деформация корпуса. Например, при работе крупного осевого насоса вследствие гидростатического давления может иметь место деформация корпуса и смещение верхнего подшипника, что приводит к появлению радиальной силы на верхнем и нижнем подшипниках и ускоренному износу вкладышей подшипников и шеек вала.

Гидростатическое давление может также вызвать расцентровку насосов.

Анализируя спектрограмму вибрации, можно составить достаточно полное представление о процессах, происходящих в насосе. С помощью измерения вибрации легко установить границы применения насоса по параметрам: подаче, давлению на входе, углу разворота лопастей. Повышенная вибрация на основной частоте, на частотах, кратных 2-4 основной, а также z основной (z - число элементов узла по окружности: пальцев муфты, полюсов электродвигателя, лопаток и т.д.), может свидетельствовать о:

- Неуравновешенности ротора
- Гидравлическом небалансе (в крупных насосах)
- Изломе линии вала (в насосах с составным валом или с удлинителем)
- Неравномерности воздушного зазора в электродвигателе
- Неравномерности потока.

Неудачная форма проточной части, приводящая к отрывному обтеканию и вихреобразованию, вызывает вибрацию на частотах примерно 200-2000 Гц, а кавитационные явления – на более высоких частотах.

В зависимости от требований эксплуатации насоса возможны особые условия его работы, при которых происходит ускоренное изнашивание элементов, или условия, которые представляют опасность для насоса или системы. При проверке работоспособности может оказаться необходимым выяснить поведение насоса при обратном направлении вращения, в турбинном режиме, при угонной скорости вращения, при открытом клапане срыва вакуума, в случае параллельной или последовательной работе с другими насосами, при изменении характеристики системы, при динамическом повышении давления (гидравлическом ударе) и неустановившихся процессах (пуски, остановки НА) с сифонными водовыпусками НС.

Литература:

1. Гловацкий О.Я., Джамалов В.Ш. Повышение надежности крупных вертикальных насосов//Гидротехника и мелиорация. 9,1981.
2. Мирцхулава Ц.Е. О надежности крупных каналов, М.,1981
3. Гловацкий О.Я., Галипов Ш.Г., «Разработка элементов информационно-советующей системы на действующих крупных насосных станциях», «Водные ресурсы Центральной Азии. Water 2002», Алматы, 2002 г.

Тұжырым

Қазіргі заманда ірі сорғы стансаларының сенімділігін арттыруды жетілдіру мәселелері өте маңызды болып табылады. Сорғыларды диагностикалау жүйесі оның агрегаттарының қолданыстағы сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Қолданыс барысында сифонды суөткізгіштер мен сорғы агрегаттары жұмысының тиімділігін арттыруда вакуумды ашып алу клапандарының да мәні зор.

Реферат

В настоящее время проблема совершенствования надежностью становится чрезвычайно актуальной для крупных насосных станций.

Система диагностирования насосов позволяет увеличить эксплуатационную надежность агрегатов.

Существенное значение в эксплуатации уделяется также работе сифонных водовыпусков и особенно клапанов срыва вакуума от которых в значительной степени зависит эффективность действия насосных агрегатов.