

УПРАВЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТЬЮ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*О.Я. Гловацкий, доктор технических наук, профессор, Р.Р. Эргашев
кандидат технических наук, доцент, Ш.Р.Рустамов, Н.Р.Насырова
докторанты*

*НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ
И ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ИНСТИТУТЕ ИРРИГАЦИИ
И МЕЛИОРАЦИИ (НИИИВП)
г.Ташкент, Узбекистан*

В статье рассматривается часть вопросов управления надёжности насосных станций при вероятностном процессе повреждения основного оборудования и сооружений.

Part of questions of management reliability pumping station is considered in article at random processes of the damage of the main equipment and buildings.

В связи с истощением ресурса оборудования насосных станций (НС) Республики Узбекистан до 50...85% проблема управления надёжностью становится чрезвычайно актуальной. В НИИИВП в 2011-15 гг. проводятся работы по указанной проблеме [1,2].

В соответствии с Законом Республики Узбекистан «О безопасности гидротехнических сооружений» (статья 6) НИИИВП проводит экспертизу надёжности технического состояния и безопасности работы ГТС и НС.

Основными задачами проверки являются:

1. Установление факторов, определяющих риск опасности НС;
2. Выявление отклонений от проектных решений, повреждений, дефектов конструкций сооружений, которые могут стать причиной аварий.

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, в том числе 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 используют 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. Выбирают показатели качества и области допустимых состояний с точки зрения качества. 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.

$$P_{расч} \geq P_{тр}, \quad (1)$$

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

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:

$$П \geq B, \quad (2)$$

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

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

$$Y_1 - Y_2 \geq 0,$$

где Y_1 - сумма внутренних факторов, характеризующая предел допустимой деформации; Y_2 - сумма внешних факторов, характеризующая действующие нагрузки при их наиболее невыгодном сочетании. Тогда надежность объекта определится вероятностью значений больше нуля

$$P = P(v \geq 0).$$

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

$$\omega(\tau) = f[\omega_c(\tau), \omega_{ps}(\tau), \omega_{kn}(\tau), \omega_{gc}(\tau), \omega_{kl}(\tau), \omega_g(\tau), \omega_n(\tau)],$$

где $\omega_c(\tau)$ - обобщенный параметр гидравлических условий; $\omega_{ps}(\tau)$ - условий размыва или заиления; $\omega_{kn}(\tau)$ - конструктивной надежности; $\omega_{gc}(\tau)$ - геологических и геотехнических условий канала; $\omega_{kl}(\tau)$ - климатических условий; $\omega_g(\tau)$ - 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.

$$\omega_{kn}(\tau) = f[\omega_{рас}(\tau), \omega_{сх}(\tau), \omega_{мех}(\tau)],$$

где $\omega_{\text{рас}}(\tau)$ - параметр совершенства приемов расчета; $\omega_{\text{сх}}(\tau)$ - параметр совершенства схемы НС; $\omega_{\text{тех}}(\tau)$ - параметр совершенства технологии.

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

$$K_c = \frac{T_{\text{б.о.}}}{T_{\text{б.о.}} + T_{\text{в}}},$$

где $T_{\text{б.о.}}$ - среднее время безотказной работы; $T_{\text{в}}$ - время восстановления НС (или другого элемента).

В общем виде работоспособность НС можно охарактеризовать одним общим определяющим параметром (например I). Область безотказных состояний объекта определяется условием $I_{\text{д}} < I_{\text{пр}}$, область отказов - $I_{\text{д}} > I_{\text{пр}}$. Условие вероятности безотказности при этом можно представить как:

$$\text{Вер}\{I_{\text{пр}} - I_{\text{д}} = u > 0\},$$

где $I_{\text{пр}}$ - предельное значение определяющего параметра, при котором наступает отказ; $I_{\text{д}}$ - действующее при обычной эксплуатации значение параметра, при котором объект функционирует безотказно.

В 2011-14 гг. сотрудники лаборатории НСиЭ провели комплексное обследование НС: головных крупнейших в СНГ НС Каршинского КМК и Аму-Бухарского АБМК по оценке технического состояния и определения факторов надежности и безопасности эксплуатации НС. При этом особое значение приобретают установление безопасных режимов переходных процессов в каналах и трубопроводах НС, оценка влияния наносов и плавника, 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. 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.

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 для создания системы диагностирования НА диктуется характером эксплуатации и требованием безостановочной работы всех НА в период поливного сезона.

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 НА. 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. В качестве критериев при управлении надежности использованы следующие понятия:

-Контролируемые показатели - измеряемые с помощью технических средств, количественные и качественные характеристики состояния НС;

-Диагностические показатели - наиболее значимые для оценки состояния НС контролируемые показатели, позволяющие дать оценку безопасности системы в целом или отдельных элементов.

Из расчетных сочетаний нагрузок и воздействий, которые регламентируются действующими нормами, формировались две полные группы событий: сочетания периода постоянной эксплуатации и сочетания периода временной эксплуатации (таблица 1).

Результаты расчетов допускаемого нормами риска по предельным состояниям первой группы элементов НС сведены в таблице 2.

Характерными являются более высокие значения нормативного риска, допускаемого в период временной эксплуатации. Однако это вполне объяснимо, так как при всех прочих равных условиях в данном случае имеет место и опасность строительного периода и ремонта.

Таблица 1. Допускаемые нормами значения риска превышения нормативных значений силовых воздействий по расчетным сочетаниям, 1/год

Класс	Сочетания периода временной и постоянной эксплуатации
-------	---

сооружения	Основное	Особое по макс. расходам	Климатическими воздействиями	Сейсмическими воздействиями	При нарушениях нормальной эксплуатации	В период реконструкции
I	10^{-4} (0,9999)	$5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$
II	10^{-3} (0,999)	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$
III	$6 \cdot 10^{-3}$ (0,994)	$2 \cdot 10^{-3}$	$1.5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1.2 \cdot 10^{-2}$
IV	10^{-2} (0,99)	$4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}	10^{-3}	$2 \cdot 10^{-2}$

Примечание: В скобках указана вероятность реализации расчетных сочетаний.

Таблица 2. Риск реализации предельных состояний первой группы элементов

Класс сооружений	Период временной эксплуатации		Период постоянной эксплуатации	
	Верхняя граница риска	Нижняя граница риска	Верхняя граница риска	Нижняя граница риска
I	10^{-4}	$7 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$
II	10^{-3}	$8 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
III	$7 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
IV	$1.2 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$

Полученные значения нормативного риска в целом согласуются с данными статистики аварий на гидросооружениях (10^{-3} – 10^{-5} 1/год в зависимости от типа сооружений и других факторов).