

ды расчета условий возникновения трещин, а также расширять базу экспериментирования и крупномасштабного моделирования плотин в различных условиях их работы, побуждающих образование трещин.

5 При строительстве плотины должны строго соблюдаться технология ее качественного возведения, соответствующая всем техническим параметрам, и требования к наполнению водохранилища. В случае функционирования водохранилища в режиме сработки, пропуска паводков, льда, шуги и других условий, заданных инструкцией по эксплуатации, необходимы его опорожнение и повторное наполнение.

При соблюдении всех вышеперечисленных условий аварии плотин можно полностью предотвратить, а повреждения свести к минимуму, безопасному для целостности плотины.

Список использованных источников

1 Михеева, О. В. Мониторинг состояния водоподпорных сооружений Саратовской области на примере Лебедевского водохранилища Краснокутского района / О. В. Михеева, С. С. Орлова, Т. А. Панкова // *Фундаментальные и прикладные исследования: новое слово в науке: материалы междунар. науч.-практ. конф.*, г. Москва, 2 сентября 2013 г. – Москва: АНО Издательский дом «Научное обозрение», 2013. – С. 257–267.

2 Панкова, Т. А. К вопросу мониторинга безопасности гидротехнических сооружений Лебедевского водохранилища Краснокутского района Саратовской области / Т. А. Панкова, О. В. Михеева, С. С. Орлова // *Техническое регулирование в транспортном строительстве*. – 2013. – № 2(2). – С. 35–42.

3 Орлова, С. С. Анализ состояния прудов и малых водохранилищ в период эксплуатации / С. С. Орлова // *Научная жизнь*. – 2015. – № 4. – С. 47–54.

4 Панкова, Т. А. Оценка эксплуатационного состояния водосбросного сооружения на балке Курдюм Саратовского района у села Клещевка Саратовской области / Т. А. Панкова, С. С. Орлова // *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия / ФГБНУ «РосНИИПМ»*. – Новочеркасск, 2015. – Вып. 2(58). – С. 132–135.

5 Михеева, О. В. К вопросу о расчете ущерба в результате аварии на гидротехническом сооружении / О. В. Михеева, С. С. Орлова // *Аграрный научный журнал*. – 2014. – № 9. – С. 38–42.

УДК 621.67: 626.83

О. Я. Гловацкий, Н. Р. Насырова

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем при Ташкентском институте ирригации и мелиорации, Ташкент, Республика Узбекистан

Р. Р. Эргашев

Ташкентский институт ирригации и мелиорации, Ташкент, Республика Узбекистан

ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО УЗЛА КРУПНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Целью исследований является научное обоснование, систематизация и унификация номенклатуры применяемых критериальных значений, подлежащих контролю, измерению и учету на стадии эксплуатации и при оценке уровня безопасности насосных станций. В процессе эксплуатации крупных насосных станций возникает ряд проблем, решить которые возможно только путем экспериментальных исследований. В статье рассматриваются методы обслуживания и технической диагностики крупных вертикальных насосных агрегатов, обеспечивающие надежность систем, дается оценка качественных и количественных изменений их эксплуатационных режимов.

Использование новых конструкций насосно-силового оборудования и разработка новых режимов эксплуатации предусматривают совершенствование режима работы насосов, что дает значительную экономию.

Ключевые слова: насосные станции, безопасная эксплуатация, диагностический признак спектра вибрации, насосные агрегаты.

В Республике Узбекистан насчитывается большое количество насосных станций. В настоящее время в эксплуатации находятся 43 крупные насосные станции (НС), около 1400 средних и 30000 мелких НС и установок. Таким образом, в Республике сосредоточено более половины насосных мощностей всего Центрально-Азиатского региона. Расход перекачиваемой воды составляет более 6,5 тыс. м³/с, объем – более 60 млрд м³ в год, потребляется около 7,5 млрд кВт·ч электрической энергии и до 5,5 тыс. т дизельного топлива.

Наиболее крупное насосное оборудование установлено на НС Аму-Бухарского машинного канала (АБМК), Каршинского магистрального канала (КМК), каналов Джизакского и Аму-Занг.

Количество крупных станций является незначительным (3 % от общего), но с суммарной расчетной подачей, превышающей 2600 м³/с, и годовой водоподачей более 40 км³ они играют очень важную роль в водном хозяйстве Республики.

Насосное оборудование в Центральной Азии работает в сложных условиях: повышенное содержание твердых взвешенных частиц в перекачиваемых водах (6...15 г/л), высокая температура окружающего воздуха (35...50 °С), круглогодичный цикл работы (в зимний период заполняются водохранилища, проводятся промывные поливы и др.). Минерализация воды в системах является высокой (до 25 мг/л). Особенно негативное воздействие на насосное оборудование оказывают частые отключения агрегатов вследствие нестабильного электроснабжения, а также по гидравлическим и технологическим причинам.

В марте 2000 г. подпор на головной части НС-1 КМК доходил до 2,8...3,0 м, что при графике работы трех насосных агрегатов (НА) приводило к самым неблагоприятным гидравлическим режимам [1].

Более трех десятилетий на многих Республиканских и Международных форумах, посвященных исследованиям в области гидравлики, рассматривается широкий круг вопросов, связанных с эксплуатацией НС, вибрацией и пульсацией давлений в насосах. При анализе конкретных объектов установлено, что неблагоприятные условия их работы объясняются неудачными проектами или неграмотной эксплуатацией, но сравнительная оценка НС различных конструкций позволяет сделать вывод о закономерностях, обусловленных гидравлическими процессами.

Опыт эксплуатации крупных машинных каналов показывает, что до 29 % отказов в работе НА происходит вследствие неблагоприятных гидравлических процессов в водоподводящих сооружениях, таких как водоворотные зоны и воронки у водоприемника, перепады уровня воды (УВ) на сороудерживающих сооружениях (СУС), заиливание водозаборов и подводящих каналов.

Это усугубляется тем, что НС работает по графику с широким диапазоном подачи, и многочисленные комбинации НА приводят к изменению структуры потока во всех элементах гидротехнического узла.

Рассмотрим некоторые технологические основы управления системами машинного водоподъема (СМВ) в аспекте безопасности.

Водозаборное сооружение – это головной объект СМВ, через который вода поступает из водоисточника (реки или водохранилища). Его назначение – обеспечивать забор воды из водоисточника в соответствии с графиком потребления и по возможности не допускать попадания в подводящий канал наносов плавающего мусора и шуги. Кроме того, оно должно давать возможность полностью или частично отключать подводящий канал во время ремонта, очистки или аварии.

В Республике Узбекистан для подвода воды к зданию НС применяются в основном открытые подводящие каналы, которые проложены в земляном русле или облицованы бетоном. Подводящий канал оканчивается аванкамерой, обеспечивающей плавный подход воды ко всем отверстиям водоприемных устройств здания станции.

Для подъема воды в здании НС установлено гидромеханическое, энергетическое и вспомогательное оборудование. К гидромеханическому оборудованию относятся затворы, направляющие аппараты и насосы, с помощью которых происходит забор воды из аванкамеры и ее подъем на заданную высоту, к энергетическому – электродвигатели, служащие приводом основных насосов.

Вспомогательное оборудование обеспечивает пуск, работу и остановку основного оборудования, а также нормальные условия эксплуатации НС.

Из конструктивных составляющих СМВ наиболее важными являются подводящий и отводящий каналы, аванкамера, станция и питающая электрическая сеть, выполняющие транспортировку, подъем и подачу воды.

Подводящий и отводящий каналы эксплуатируются при различных гидравлических режимах. К наиболее часто встречающимся режимам эксплуатации относятся равномерный режим, а также поддержание УВ нижнего и верхнего бьефа с перетекающими объемами. Эти режимы должны предотвращать заиляемость, размываемость каналов, перелив воды через бровку при внезапных остановках НА, поддерживать уровень горизонтов воды в нижнем и верхнем бьефах (УВНБ, УВВБ) НС, проектное живое сечение, обеспечивать бескавитационную работу и энергосберегающий режим работы НС.

УВ в подводящем канале зависит от изменения УВ в водоисточнике, расхода воды, поступающей в канал, геометрии и состояния канала. УВ в отводящем канале колеблется в зависимости от количества работающих агрегатов станции, геометрии и состояния канала.

При совместной работе объектов СМВ НС к подводящим и отводящим каналам предъявляется ряд требований: поддержание достаточно высокого УВНБ для обеспечения условий пуска НА и энергоэкономичных режимов; понижение уровня недопустимо по кавитационным условиям НА; УВВБ должен быть удовлетворительным для нормальной и безаварийной эксплуатации (в соответствии с графиком водоподачи).

С другой стороны, максимальная величина наполнения подводящего канала ограничивается условиями безаварийности, незаиляемости, испарения и фильтрации воды, а минимальная величина наполнения отводящего канала – условиями нормальной безаварийной эксплуатации сифона напорного трубопровода и потерями энергии на трение. Поэтому необходимо выбрать такие режимы работы подводящих и отводящих каналов, которые как можно больше соответствуют правилам безопасности, но с учетом их собственных ограничений.

На основе анализа работы НС разработаны требования к лимитирующим элементам гидротехнического узла НС.

Так, в течение ряда лет причиной низкой производительности одной из крупнейших НС Хамза-1 считалось некачественное изготовление насосно-энергетического оборудования, а причиной отказов в функционировании крайних агрегатов – их некачественный ремонт. В результате анализа статистических данных было установлено, что время простоев крайних агрегатов превосходит среднее по станции в 1,7...2,5 раза, а время аварийных ремонтов – в 2,9...3,8 раза. Такое положение объясняется исключительно неблагоприятными гидравлическими условиями подвода воды к крайним НА. Аналогичная картина наблюдается как на однотипных НС (Алатская, Каракульская, Яманджарская), так и на станциях других компоновок – с параллельными боковыми стенками у водоприемника (Кызылтепинская, Каршинская). На каскаде КМК на большем количестве капитально отремонтированных НА станции (около 70 %) работали крайние агрегаты. Были выявлены и другие причины распространенных экс-

плуатационных проблем, они связаны с гидравлическими процессами гидротехнического комплекса.

Эксплуатируемые в настоящее время водоподводящие сооружения рассчитаны только на ограниченные диапазоны режимов. Отсутствует классификация СУС и методы их расчета с учетом региональных и гидрологических особенностей. Сооружения не содержат элементов управления потоком.

Оценка технического состояния в первую очередь должна быть положена в основу оценки безопасности эксплуатации гидротехнического узла крупных НС.

Для насосов ГОСТ 6134-71 устанавливает следующие виды испытаний: предварительные заводские, приемочные, испытания установочной партии, приемосдаточные, периодические, типовые и определительные испытания на надежность.

При испытаниях в зависимости от их видов могут регистрироваться различные характеристики.

Напорная характеристика представляет собой зависимость напора от подачи насоса. Энергетическая характеристика – зависимость потребляемой мощности и КПД от подачи. Снятие этих характеристик должно проводиться одновременно на расчетной частоте вращения. При каждом режиме измеряют и записывают частоту вращения, подачу, давление на входе и выходе, крутящий момент или мощность, температуру жидкости.

Кавитационная характеристика представляет собой зависимость допускаемого кавитационного запаса от подачи насоса.

Периодическим испытаниям подвергаются крупные насосы серийного производства в соответствии с требованиями технической документации, но не менее одного насоса в два года. Периодические испытания должны включать: снятие напорной, энергетической и кавитационной характеристик, определение внешних утечек, проверку вибрации опор.

При испытаниях на надежность следует уточнить показатели надежности, сроки и объемы ремонтов, определить потребность в запасных частях с целью внесения этих данных в техническую документацию.

Реализация технических и организационных мероприятий по обеспечению безопасности эксплуатируемых гидротехнических сооружений (ГТС) невозможна без объективной оценки уровня их безопасности на основе сопоставления факторов, учтенных в ходе эксплуатации, ремонтов и реконструкции, с факторами безопасности, действующими на момент обследования НС. Под факторами безопасности понимаются количественные и качественные характеристики состояния сооружения и ожидаемого ущерба от аварии НС [1].

Необходим достаточно формализованный и оперативный способ оценки, позволяющий объединить в едином показателе влияние большого числа качественных и количественных факторов, имеющих разную значимость.

Данная проблема была рассмотрена Международной комиссией по большим плотинам (СИГБ) в рамках необходимости автоматизации системы натуральных наблюдений. Согласно рекомендациям СИГБ состояние ГТС оценивается 11 количественными и качественными факторами, объединенными в три группы, которые характеризуют:

- влияние окружающей среды;
- конструктивные особенности и состояние сооружения.

Для приведения указанных факторов к единому масштабу они ранжируются по дискретной шкале (от одного до шести). Для учета взаимовлияющих факторов одной группы их ранжированные оценки осредняются, а для учета взаимовлияния групп факторов указанные осредненные оценки перемножаются. Большие значения итоговых оценок свидетельствуют о более низком уровне безопасности. Приведение факторов к единому масштабу осуществляется нами на основе единой непрерывной шкалы, значения которой изменяются от нуля до пяти.

Количественная оценка факторов безопасности более высокого уровня (и в том числе оценка уровня безопасности) осуществляется с учетом взаимовлияния различных (приведенных к единому масштабу) факторов безопасности более низкого уровня. Такой учет выполняется в соответствии с иерархической структурой факторов на каждом уровне иерархии.

После завершения расчетов для всех уровней иерархии и определения уровня безопасности ГТС в целом следует:

- выполнить анализ вклада отдельных факторов и групп факторов;
- в случае необходимости внести корректировку в набор учитываемых факторов, их иерархию, ранжирование, оценку факторов низших уровней иерархии, выбор расчетных формул;
- повторить процедуру оценки уровня безопасности с использованием уточненных исходных данных и локальных характеристик безопасности;
- сформулировать (в случае необходимости) выводы о причинах низкого уровня безопасности, необходимые для разработки мер организационно-технического характера по предотвращению аварий и разрушения эксплуатируемого ГТС.

В случае определения общего значения фактора «оценка состояния эксплуатируемого ГТС» следует произвести оценку этих факторов на основе полученных для различных «сценариев» аварий или разрушения.

Внутри каждого поддиапазона шкалы, ранжирующей уровень безопасности, имеется несколько значений. Поэтому при использовании данной методики могут быть детализованы рекомендации инспекционных комиссий, вытекающие из их оценок состояния ГТС и его уровня безопасности.

В настоящее время в технике существуют два подхода к нормированию безопасности. Первый, который применяется и в гидротехнике, основан на разделении объектов на классы в зависимости от степени их ответственности.

К каждому классу предъявляются свои определенные требования безопасности, которые обеспечиваются посредством регламентации системы нормативных коэффициентов: по нагрузкам, материалам, ответственности, условиям работы, сочетаниям нагрузок и воздействий.

Во втором случае регламентируется риск как вероятность другого, связанного с аварией или же отказом объекта вследствие нежелательного, в том числе и катастрофического события.

Целесообразно оценивать не один, а два уровня нормативного риска, допускаемого на ГТС: верхнюю границу риска, которая определяется только классом объекта, и нижнюю, которая может быть достигнута для данного сооружения НС при выбранном классе за счет других коэффициентов.

Специалисты НИИИВП принимали участие в комплексных натурных и диагностических испытаниях крупнейших НС Республики Узбекистан: НС-1 КМК, Хамза-1 и Кую-Мазар АБМК, Аму-Занг-2. По результатам проведенных испытаний выявлено, что возможны следующие аварийные ситуации:

- образование в недоступной для осмотра подводной части напорного бассейна трещины или нарушение уплотнения деформационного шва;
- интенсивная утечка воды в образовавшееся отверстие с вымывом грунта из-под сооружения;
- в месте размыва грунтового основания обрушение донной плиты напорного бассейна и прорыв воды, требующий прекращения водоподачи по каскаду.

В зависимости от степени разрушений ликвидация последствий таких аварий может потребовать много времени и средств с прекращением водоподачи.

Выводы

1 В статье сформулированы принципы построения системы надзора, основанные на опыте оценки технического состояния НС. Как показывает анализ публикаций в пе-

риодической технической литературе, в пользу такого пути развития системы надзора за объектами повышенной опасности свидетельствует техническая политика в гидроэнергетике России, США, Голландии и других развитых стран.

Объективность и эффективность надзора будут максимальными при комплексных и сопоставимых для различных НС оценках. Этого можно достичь на основе обобщенного количественного показателя, отражающего как подобия, так и различия в конструкциях ГТС, насосов и условиях их эксплуатации. В связи с этим обследование НС должно носить официальный характер, для чего целесообразно принять единую методику и регламент экспертных обследований, инструментальных испытаний и представления результатов.

2 Современный этап развития машинного водоподъема характеризуется специалистами как период старения оборудования сооружений, в этой связи вполне обоснована система надзора за его безопасностью. Считается, что наиболее оперативной и эффективной формой такого надзора является система мониторинга технического состояния основного оборудования и сооружений НС.

Сущность мониторинга заключается в периодическом контроле общего уровня путем обнаружения отклонений в состоянии оборудования на основе критериев безопасности, которыми признаются количественные и качественные показатели предельного состояния, свидетельствующие о невозможности нормальной эксплуатации оборудования.

В данном случае пригоден принцип неизменяемости состояния, когда неизменяемость или малая изменяемость состояния и параметров сооружений и оборудования за некоторый промежуток времени признается как свидетельство его удовлетворительного состояния.

3 Появление независимой надзорной системы мониторинга технического состояния НС стимулирует развитие диагностики [2].

Список использованных источников

1 Некоторые правовые и экономические аспекты повышения надежности и безопасности эксплуатации оросительных насосных станций / О. Я. Гловацкий, Х. Х. Исаков, Ф. А. Бекчанов, Р. Р. Эргашев // Водному сотрудничеству стран Центральной Азии – 20 лет: опыт прошлого и задачи будущего: тез. докл. Центрально-Азиатской междунар. науч.-практ. конф., г. Алматы, 20–21 сентября 2012 г. – Ташкент – Алматы, 2012. – С. 117–119.

2 Бекчанов, Ф. А. Разработка систем диагностирования насосных агрегатов иригационных систем / Ф. А. Бекчанов, Р. Р. Эргашев, О. Я. Гловацкий // Повышение эффективности, надежности и безопасности гидротехнических сооружений: материалы науч.-практ. конф. / ТИМИ. – Ташкент, 2013. – С. 7–10.

УДК 626/627

А. М. Кореновский, Д. В. Бакланова

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ОЦЕНКА РИСКА АВАРИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ТАЙГАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В РЕСПУБЛИКЕ КРЫМ

Целью исследований являлась оценка риска аварии гидротехнических сооружений (ГТС) Тайганского водохранилища в Республике Крым на основании экспертного анализа уровня опасности аварии и уровня уязвимости сооружений по методике ГНЦ РФ ОАО «НИИ ВОДГЕО». Установлено, что уровень риска по значению вероятности аварии плотины характеризуется как условно приемлемый и составляет $3,1 \cdot 10^{-3}$ 1/год. Уровень