

$$\int_0^{\infty} [Q_y(t_{н.у.} + t) - Q_B(t_{д.в.} + t)] dt \rightarrow \min.$$

Зная $t_{д.у.}$ до данного потребителя и $t_{н.у.}$, можно вычислить время задержки начала подачи t_3 управляющего расхода на входе системы:

$$t_3 = t_{н.у.} - t_{д.у.}$$

3 Сброс – дефицит. Этот вариант работы системы является самым неблагоприятным с точки зрения управления, так как возникает непроизводительный сброс воды, и еще необходимы действия по устранению образующегося после этого дефицита. С этой целью определяется время начала образования дефицита из условия:

$$\int_0^{t_1} Q_y(t) dt = \int_0^{t_1} Q_B(t) dt,$$

а затем объем $V_{доп}$, который нужно дополнительно подать в ОС:

$$V_{доп} = \int_0^{\infty} [Q_y(t) - Q_B(t)] dt.$$

4 Сброс. В данной системе сброс воды является неуправляемым параметром, в связи с чем задача управления в этом случае сводится к минимуму и состоит в немедленном изменении расхода на управляющем сооружении.

Выводы. При выполнении анализа были рассмотрены три варианта работы системы в условиях действия ограничений, связанных: 1) с постоянно изменяющимися свойствами канала, 2) временами добегания расходов, 3) динамическими (емкостными) свойствами канала и временами добегания расходов. Оптимальным в данном случае является третий вариант, так как фактический сброс из системы в целом будет меньше, а при выполнении условия, что объем образующегося дефицита для нижележащих бьефов будет равен объему образующегося сброса, на выходе системы не будет наблюдаться дефицит и сброс воды.

Список использованных источников

1 Коржов, В. И. Совершенствование алгоритмов управления водораспределением на межхозяйственной и внутрихозяйственной открытой оросительной сети / В. И. Коржов // Повышение эффективности использования водных ресурсов в сельском хозяйстве: тез. конф., 25–29 сент. 1989 г. – Ч. 2. – Новочеркасск: Южгипроводхоз. – С. 179.

2 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография. В 2 ч. Ч. 2 / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 307 с.

УДК 621.67,626.83

А. И. Азимов, Б. Б. Хасанов

Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Республика Узбекистан

О. Я. Гловацкий, Н. Р. Насырова

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем при Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Республика Узбекистан

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И БЕЗОПАСНОСТИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Целью исследований являлись основные мероприятия по повышению эффективности эксплуатации и безопасности сооружений насосных станций (НС), ликвидации

непроизводительных потерь электроэнергии, напора и перепадов уровней воды, заклинивания аванкамер, уменьшения высоты подъема воды при различных углах разворота лопастей рабочего колеса, внедрению энерговодосберегающих технологий при эксплуатации НС, совершенствованию конструкций регуляционных и сопрягающих сооружений с переходными процессами. Для управления надежностью НС анализируются статические модели, динамические модели с сосредоточенными параметрами и динамические модели с распределенными параметрами.

Ключевые слова: насосные станции, эксплуатация, насосные агрегаты, безопасность, надежность, сопрягающие сооружения.

A. I. Azimov, B. B. Khasanov

Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

O. Ya. Glovatskiy, N. R. Nasyrova

Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems at Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

ESTIMATION OF OPERATION AND SAFETY EFFICIENCY OF PUMPING STATIONS

The aim of the research were the main activities on increasing the pumping stations (PS) structure operation and safety efficiency, eliminating the downtime unproductive losses of electricity, pressure and water level differences, siltation of the diversion chamber, reducing the water lift at different turning angles of the impeller holes, the introduction of energy-saving technologies in the operation of pumping stations, the improvement of the construction of regulatory and grade control structures with transient processes. The static models, the dynamic models with lumped parameters, and dynamical models with distributed parameters are analyzed to control the reliability of the PS.

Key words: pumping stations, operation, pump units, safety, reliability, grade control structures.

Узбекистан является наиболее насыщенной насосами республикой, здесь сосредоточено более половины насосных мощностей всего Центрально-Азиатского региона: эксплуатируются 43 крупные насосные станции (НС), около 1400 средних и 30000 мелких НС и установок. Расход перекачиваемой воды ежегодно составляет более 6,5 м³/с, объем – более 60 млрд м³. Более 50 % сооружений и оборудования выработали свой ресурс, работоспособность НС поддерживается ежегодными дорогостоящими ремонтами, однако, по данным САНИИРИ, до 20–25 % затрат являются непроизводительными по энергозатратам и 30–50 % – по ремонтно-восстановительным затратам. За счет снижения удельных энергозатрат, контроля и повышения среднеэксплуатационных КПД элементов НС можно значительно снизить эксплуатационные издержки и повысить надежность эксплуатации НС.

Своевременное выявление отказов (постепенных и внезапных) позволяет предотвратить снижение эффективности эксплуатации насосных агрегатов (НА) и особенно возможные аварийные ситуации, ведущие к прекращению водоподачи.

Крупные НС оснащаются насосами большой быстроходности, в связи с чем к подводным устройствам блоков НС предъявляются требования по обеспечению безопасности [1].

Зарубежные машиностроительные фирмы имеют большой опыт создания высокопроизводительных насосов. Так, НС Гранд-Кули (США) оборудована 12 насосами мощностью по 49 МВт, обеспечивающими подачу 46 м³/с при напоре 92 м. Однако высокие значения подачи и напора, равно как и большие габариты основного оборудова-

ния, вызывают усложнение конструкций сооружений и уменьшение безопасности [2].

Авторами для гидравлически благоприятного режима насосов предложены новые конструкции водоприемника, всасывающих труб, аванкамер, улучшающих условия эксплуатации основных гидротехнических элементов, сопрягающихся с НА.

Расчет сложных переходных процессов является одним из самых ответственных этапов повышения безопасности эксплуатации НС [3].

Режимы работы НС определяются алгоритмически. Геометрический напор определяется как разность уровней верхнего и нижнего бьефа НС:

$$H = z_{вб} - z_{нб},$$

где $z_{вб}$ – отметка уровня воды верхнего бьефа (УВВБ), м;

$z_{нб}$ – отметка уровня воды нижнего бьефа (УВНБ) в аванкамере, м.

Характеристика потерь напора в трубопроводе НС представлена в виде функциональных кривых, зависящих от подачи и высоты подъема:

$$\Omega_T^i = \begin{cases} Q_j^i & j = \overline{1, K}; (i = \overline{1, N}), \quad N \leq M \\ H_T^j & j = \overline{1, K} \end{cases},$$

где Q_j^i – аргумент напорной характеристики трубопровода, т. е. подача i -го НА, м³/с;

i – нумерация установленных НА;

j – нумерация кривых в напорной характеристике;

K – количество точек в напорной характеристике;

N – количество работающих НА, шт.;

M – количество установленных НА, шт.;

$H_T^j = H + \nabla H_j$ – функция напорной характеристики при геометрическом напоре H , м;

∇H_j – потери напора, м.

Эксплуатационные характеристики НА представлены в виде семейства кривых, зависящих от высоты подъема воды при различных углах разворота лопастей рабочего колеса:

$$\Omega_{\omega}^i = \Omega_{H, Q, \varphi} \cup \Omega_{H, \eta, \varphi}, \quad i = \overline{1, N},$$

где $\Omega_{H, Q, \varphi}$ – расходная характеристика НА:

$$\Omega_{H, Q, \varphi} = \begin{cases} Q_j^i & i = \overline{1, N}, (j = \overline{1, K}) \\ H_i & i = \overline{1, N}, \\ \varphi_j & j = \overline{1, K} \end{cases};$$

$\Omega_{H, \eta, \varphi}$ – энергетическая характеристика НА:

$$\Omega_{H, \eta, \varphi} = \begin{cases} \eta_j^i & i = \overline{1, N}, (j = \overline{1, K}) \\ H_i & i = \overline{1, N}, \\ \varphi_j & j = \overline{1, K} \end{cases},$$

где Q – подача НА при соответствующем угле φ_j , м³/с;

φ_j – угол разворота лопастей, соответствующий j -й кривой, град;

η_j^i – КПД i -го НА для j -й кривой;

Допустимая область D работы НА в координатах Q - H определяется следующими внешними границами:

$$\left. \begin{aligned} D_{1\max}^i &= \Omega_T^{i\max} \cap \Omega_{H,Q,\varphi}^i \\ D_{1\min}^i &= \Omega_T^{i\min} \cap \Omega_{H,Q,\varphi}^i \\ D_{2\max}^i &= \Omega_{H,Q,\varphi\max}^i \\ D_{2\min}^i &= \Omega_{H,Q,\varphi\min}^i \end{aligned} \right\},$$

где $\Omega_T^{i\max}$, $\Omega_T^{i\min}$ – характеристика трубопровода при максимальной и минимальной геометрической высоте подъема, м;

$\varphi_{\max}$, $\varphi_{\min}$ – максимальный и минимальный углы разворота лопастей насоса, град.

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.

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 аванкамер, водозаборов и подводящих каналов. Исследования эксплуатации НС, выполненные институтом «Узсвулойиха» в 2016–2017 гг., показали, что потери в НС достигают 38 % от потребляемой электроэнергии с уменьшением надежности от подводящего канала – 0,93, регулиционных сооружений – 0,91, аванкамеры – 0,90 до всасывающей трубы – 0,91, СУС – 0,85, водоприемника – 0,84 [4].

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

Оценка надежности эксплуатации узлов гидромеханического оборудования НС требует длительного и разностороннего наблюдения за работой оборудования. При этом особое внимание следует обращать на сравнительное время аварийных и плановых ремонтов, причины дефектов узлов, изменение во времени вибрации узлов агрегатов и других параметров, степень их износа [5].

На основе этих данных разрабатываются мероприятия по повышению надежности эксплуатации НС и производится оценка их эффективности.

Вероятность появления тех или иных отклонений от нормальных условий эксплуатации и степень опасности этих особых режимов различны для насосов разных типов и определяются назначением НС, ее оснащением средствами контроля и автоматики. Например, повышение напора сверх максимального расчетного значения не представляет практически никакой опасности для небольших центробежных насосов, но крайне нежелательно для крупных центробежных и еще в большей степени для осевых насосов. Пуск и остановка малых насосов не вызывают особых трудностей, а для крупных высокопроизводительных агрегатов являются наиболее ответственными операциями.

Специальные исследования, проведенные в ТИИИМСХ и НИИИВП, показали, что причиной повышенной вибрации является работа насоса в зоне сильно развитой кавитации, которая является следствием затяжного падения давления в проточной части и нарушения работы регулиционных сооружений при внезапном отключении НА.

Исходя из установленных нами физических представлений, необходимо установить, какие факторы в самом общем случае оказывают влияние на величину неустановившихся режимов:

- гидродинамические силы как функция линейных размеров НА l , м:

$$R = f_1(l);$$

- сила зависит от скорости потока V , м/с:

$$R = f_2(V);$$

- если скорость потока не слишком мала, то существенную роль играют силы

инерции. Величина их зависит от массы водной среды, которая характеризуется ее плотностью ρ , кг/м³:

$$R = f_3(\rho).$$

Основные задачи расчета безопасности: определение продолжительности неустойчившегося процесса и его отдельных этапов, совпадения подсоса воздуха в аванкамере и момента максимального повышения давления на валу насоса [5].

Статистический характер изменения параметров насоса (диаметра рабочего колеса, уплотнительных защитных колец и т. д.) может задаваться коэффициентом, характеризующим интенсивность изменения параметра и плотность его распределения.

Масштабы обновления инвестиционной политики требуют ужесточения требований к ресурсоемким проектам. Необходимо определить целесообразность эксплуатации НС при снижении рабочих параметров (в первую очередь надежности) ниже расчетных.

Образование новых русловых форм, заиление аванкамеры и деформация берегов изучались с точки зрения общих закономерностей руслообразования, а механизм непосредственного взаимодействия потока, водоворотов и размываемого берега до сих пор полностью не вскрыт при неустойчившихся процессах.

Программа обеспечения надежности НА предназначена для определения состояния насосов в неблагоприятных гидравлических условиях подвода воды. В программе приводится способ диагностики агрегатов, при котором необходимый сигнал о состоянии рабочего колеса и лопастей снимают с подшипников вала НА и на основании полученных данных определяют остаточные ресурсы агрегатов [6].

Современные технологии ремонтных работ должны позволить решить ряд взаимосвязанных задач повышения эффективности эксплуатации при увеличении КПД насосов, водосбережения при повышении объемной составляющей КПД и безопасности эксплуатации крупных гидротехнических сооружений, к которым относятся НС с уникальными насосами типа ОП-10-26-, 185, 110, установленными на каскадах НС в Кашкардарьинской, Бухарской, Сурхандарьинской и других областях.

Выводы

1 Совершенствование безопасности сопрягающих сооружений с переходными процессами целесообразно сконцентрировать на элементах устройств в водоподводящих и отводящих сооружениях НС с минимальной надежностью от регуляционных сооружений – 0,91, аванкамеры – 0,90, СУС – 0,85, водоприемника – 0,84.

2 Анализ современных направлений изучения неустойчившегося движения воды в водоподводящих сооружениях НС показал, что параметр нестационарности влияет на структуру скоростного поля и сказывается на определении показателей надежности, которые определяются при расчете рассматриваемых эксплуатационных характеристик НА.

3 Анализируя основные модели, применяемые для управления надежностью ирригационных НС, можно их разделить на три группы: статические модели, динамические модели с сосредоточенными параметрами и динамические модели с распределенными параметрами. Эти модели отличаются между собой предпосылками, количеством и типом первичной информации и степенью детализации полученных результатов. При нормировании безопасности необходимо учитывать требования к безопасности, которые обеспечиваются посредством регламентации сочетаний нагрузок и воздействий системы на эти элементы.

Список использованных источников

1 Азимов, А. И. Экологические аспекты энергосберегающих режимов крупных ирригационных насосных станций / А. И. Азимов, Ш. М. Шарипов, О. Я. Гловацкий // Материалы республиканской научно-практической конференции по инновациям в сельском хозяйстве. – Ташкент, 2010. – С. 63–66.

2 Glovatsky, O. Ya. Reliability assessment and measures for resources-saving on water lifting engine systems in the Republic of Uzbekistan / O. Ya. Glovatsky, R. R. Ergashev //

Perspectives of Innovations, Economics and Business. – 2010. – Vol. 4, iss. 1. – P. 111–113.

3 Гловацкий, О. Я. Методы управления безопасностью сопрягающих сооружений насосных станций с переходными процессами / О. Я. Гловацкий, Ш. Р. Рустамов, Ш. М. Шарипов // Научное обеспечение как фактор устойчивого развития водного хозяйства: сб. докл. II Междунар. науч.-практ. конф., г. Тараз, 24 июня 2016 г. – Казахстан, 2016. – С. 143–146.

4 Гловацкий, О. Я. Оценка надежности гидротехнических систем ирригационных насосных станций / О. Я. Гловацкий, Е. А. Печейкина, Ш. Р. Рустамов // Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 5–6 окт. 2017 г. – М.: Изд-во ВНИИГиМ, 2017. – С. 235–238.

5 Гловацкий, О. Я. Оценки безопасности и повышение надежности эксплуатации гидротехнического узла крупных насосных станций / О. Я. Гловацкий, Н. Р. Насырова, Р. Р. Эргашев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 2(62). – С. 108–113.

6 Программа для обеспечения надежности насосных агрегатов: свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин Республики Узбекистан № DGU 03969 / Гловацкий О. Я., Эргашев Р. Р., Насырова Н. Р., Бекчанов Ф. А.; заявитель и правообладатель Ташкент. ин-т ирригации и мелиорации. – № заявки DGU 2016 0452; опубл. 09.09.16.

УДК 626.84:633.2.031(476.4)

М. Г. Голченко, Д. В. Яланский

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки, Республика Беларусь

ОЦЕНКА ТЕПЛОВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПРИ ОРОШЕНИИ СЕНОКОСНО-ПАСТБИЩНОЙ ТРАВΟΣМЕСИ

Целью исследований явилась оценка тепловлагообеспеченности территории северо-восточной зоны Республики Беларусь на примере конкретного года (2017), а также установление внутривегетационного распределения метеоусловий посредством сравнения конкретного 2017 г. со среднегодовыми значениями. В результате математической обработки установлено, что 2017 г. является избыточно увлажненным по осадкам и средним по температуре воздуха. По методу, изложенному в работе М. Г. Голченко, получена суммарная мера сходства осадков со среднегодовыми величинами, которая при учете декадных величин составила 64,9 %, а при учете месячных величин – 79,0 %. Суммарная мера сходства среднесуточных температур воздуха при учете декадных величин составила 92,9 %, а при учете месячных величин – 95,4 %. Представлены результаты оперативного управления водным режимом в конкретном 2017 г. на примере сенокосно-пастбищной травосмеси.

Ключевые слова: теплообеспеченность, влагообеспеченность, атмосферные осадки, среднесуточные температуры воздуха, мера сходства метеоусловий, водный режим, оперативное управление, динамика влажности почвы, количество поливов.

M. G. Golchenko, D. V. Yalanskiy

Belarusian State Agricultural Academy, Gorki, Republic of Belarus

EVALUATION OF HEAT AND MOISTURE AVAILABILITY OF THE NORTHERN EASTERN ZONE OF THE REPUBLIC OF BELARUS BY IRRIGATION OF THE MOWING AND GRAZING GRASS MIXTURES

The purpose of the research was to assess the heat and moisture availability of the territory of the north-eastern zone of the Republic of Belarus by the example of a specific year