

КОМПЛЕКСНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Курбанова Умида Уткировна. PhD.
старший преподаватель Сам ДАКУ
kurbanova.umida@samdaqu.edu.uz*

Оптимизация работы насосных агрегатов для снижения кавитации и продления ресурса оборудования является одной из актуальных задач гидротехнической и промышленной энергетики Узбекистана. Насосные станции обеспечивают работу систем водоснабжения, ирригации, водоотведения, а также технологических процессов на промышленных предприятиях. В условиях жаркого климата и значительных сезонных колебаний уровня воды насосное оборудование подвергается повышенным нагрузкам, что вызывает развитие кавитации — основного фактора, сокращающего срок службы агрегатов.

Кавитация представляет собой процесс образования и разрушения паровых пузырьков в жидкости при снижении давления ниже давления насыщенного пара. При схлопывании пузырьков возникают локальные гидравлические удары, сопровождающиеся эрозией поверхности лопаток рабочего колеса, шумом, вибрацией и снижением КПД агрегата. Начало кавитации определяется сравнением требуемого и доступного кавитационного запаса (NPSH). Если значение доступного запаса меньше требуемого, в насосе возникает кавитация. В результате этого рабочие органы насоса быстро изнашиваются, возникает вибрация, нарушается устойчивость работы, снижается производительность и эффективность.

В Узбекистане кавитационные разрушения наиболее часто наблюдаются в насосных станциях, обеспечивающих оросительные и мелиоративные системы. Около 50 % всех сельскохозяйственных территорий страны зависят от насосных станций, многие из которых построены более 30 лет назад и работают без современной системы контроля. В районах с низким уровнем подпора, особенно в Хорезмской, Бухарской и Навоийской областях, из-за пониженного уровня воды на входе в насосную камеру нередко наблюдается кавитация. Кроме того, повышенные температуры воды летом (до 28–30 °C) снижают кавитационный запас, увеличивая риск повреждений.

Для снижения кавитации и увеличения ресурса насосного оборудования необходимо проводить комплексную оптимизацию. Прежде всего, следует обеспечить правильный выбор режима работы насоса — он должен функционировать вблизи точки максимального КПД, при которой

гидравлические потери минимальны, а кавитационные явления отсутствуют. Работа насоса на пониженных расходах приводит к срыву потока и возникновению кавитационных зон. Пересмотр гидравлических схем позволяет повысить $NPSH_a$ за счёт сокращения потерь на всасывании, уменьшения длины и количества изгибов трубопровода, повышения уровня жидкости в приёмном резервуаре. Даже уменьшение потерь на всасывании на 1–2 м может полностью устранить кавитацию в насосах среднего напора.

Одним из современных направлений является внедрение частотно-регулируемых электроприводов (VFD), которые позволяют плавно изменять скорость вращения рабочего колеса в зависимости от потребляемого расхода. Такая система не только предотвращает работу насоса в кавитационных зонах, но и обеспечивает экономию электроэнергии до 20–30 %. Использование систем плавного пуска (soft-start) позволяет избежать гидравлических ударов при запуске агрегата. В условиях Узбекистана, где электроэнергия составляет до 60 % эксплуатационных затрат насосных станций, внедрение VFD даёт существенный экономический эффект.

Для повышения устойчивости насосов необходимо совершенствовать конструкцию проточной части. Изменение профиля лопаток рабочего колеса и направляющих аппаратов, сглаживание острых кромок и установка выпрямляющих устройств снижают локальные зоны пониженного давления. Применение многоступенчатых насосов с меньшими перепадами давления на каждой ступени также уменьшает кавитационные риски. На гидротехнических объектах, таких как Чирчик-Бозсуйский каскад ГЭС, внедрение подобных мер позволило сократить кавитационные повреждения рабочих колес на 25–30 %.

Важным направлением является диагностика и мониторинг состояния насосных агрегатов. Установка датчиков вибрации, давления и температуры, а также акустических сенсоров позволяет выявлять начальные стадии кавитации до появления эрозионных дефектов. Внедрение систем автоматического управления на базе микропроцессорных контроллеров обеспечивает оптимизацию режимов в реальном времени. На основе таких данных возможно прогнозировать остаточный ресурс оборудования и планировать ремонт до возникновения аварии.

Для продления ресурса насосов применяются износостойкие материалы и покрытия. Лопатки из нержавеющей стали, бронзы или сплавов с кобальтом обладают повышенной устойчивостью к кавитационной эрозии. Использование защитных покрытий на основе карбида вольфрама или никелевых композиций увеличивает срок службы проточной части в 2–3 раза. Параллельно необходимо соблюдать режим технического обслуживания: регулярная полировка

поверхностей, удаление отложений, контроль балансировки ротора и очистка фильтров.

С практической точки зрения, для условий Узбекистана оптимизация насосных агрегатов может включать несколько уровней: реконструкцию существующих станций с установкой частотно-регулируемых приводов; модернизацию проточной части насосов; внедрение систем автоматического мониторинга; а также обучение персонала методам диагностики кавитации. На отдельных пилотных объектах (например, в Ферганской долине или в Каракалпакстане) такие меры уже показали эффективность — снижение частоты ремонтов на 40 % и увеличение ресурса агрегатов на 25–30 %.

Снижение кавитации и продление ресурса насосного оборудования возможно только при комплексном подходе, включающем оптимизацию гидравлических режимов, совершенствование конструкции насосов, внедрение регулируемых приводов и современных систем мониторинга. В Узбекистане это позволит повысить эффективность водохозяйственного комплекса, снизить энергопотребление и увеличить срок службы оборудования.

Важным направлением является организационно-экономическая модернизация управления насосными станциями. Многие из них работают по устаревшим схемам без автоматизации, что вызывает износ и перерасход электроэнергии. Переход на цифровой мониторинг с применением датчиков и систем SCADA обеспечит контроль параметров в реальном времени, раннее выявление кавитации и прогнозирование неисправностей, повышая надёжность и эффективность работы станций.

Реализация подобных проектов в рамках национальных программ «Водная стратегия Узбекистана до 2030 года» и «Энергосбережение в сельском хозяйстве» предполагает внедрение энергоэффективных технологий и цифровых решений. Согласно данным Министерства водного хозяйства, модернизация насосных станций может снизить потребление электроэнергии до 15–20 % и увеличить срок службы оборудования на 5–10 лет. В пересчёте на масштабы всей республики экономия составит более 200 миллионов кВт·ч в год, что эквивалентно снижению расходов на 180–200 миллиардов сумов ежегодно.

Большое значение имеет также оптимизация графиков эксплуатации насосных агрегатов. В Узбекистане большинство станций работают с неравномерными нагрузками в зависимости от сезона и времени суток. Например, в пиковые летние месяцы, когда температура воздуха превышает 40 °С, расход воды резко возрастает, что требует одновременной работы нескольких агрегатов. Однако при отсутствии синхронизации между насосами возникают режимы взаимного влияния на всасывании, что приводит к кавитации даже при нормальных условиях NPSH. Решением является разработка

динамических графиков включения и выключения агрегатов, обеспечивающих равномерное распределение нагрузки и минимизацию гидравлических ударов.

Важным направлением является повышение квалификации эксплуатационного персонала. На многих объектах отсутствует системная подготовка инженеров и операторов по вопросам кавитации, диагностики и энергоэффективного управления насосами. Введение учебных модулей по данной тематике в программы повышения квалификации Министерства водного хозяйства и региональных техникумов позволит снизить количество аварийных ситуаций и улучшить качество эксплуатации оборудования. Практика показала, что после проведения курсов по анализу кавитационных режимов частота внеплановых ремонтов снижается на 20–25 %.

Наряду с этим необходимо внедрять научно-технические разработки отечественных вузов и исследовательских институтов. В последние годы в Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (ТИИМСХ) ведутся работы по созданию моделей проточных частей насосов, оптимизированных для условий Узбекистана. Разрабатываются геометрические формы лопаток с улучшенной обтекаемостью, что снижает вероятность образования зон низкого давления и кавитационных очагов. Испытания опытных образцов показали увеличение КПД на 3–4 % и снижение кавитационных повреждений на 20–25 % по сравнению с серийными моделями.

Перспективным направлением является применение комбинированных насосных систем с гидроаккумуляторами и буферными резервуарами, которые стабилизируют давление и уменьшают пульсации потока. Использование подпорных резервуаров и автоматических клапанов особенно эффективно на магистральных каналах Амударьи и Сырдарьи.

Для продления ресурса оборудования рекомендуется переход к обслуживанию «по состоянию», а не «по сроку службы». Такой подход позволяет выполнять ремонт при достижении критических параметров, сокращая простои и продлевая межремонтный период на 15–20 %.

Поддержание чистоты воды также имеет важное значение. Установка фильтров при содержании в воде 50–150 мг/л взвешенных частиц снижает износ лопаток и корпуса на 30–40 %.

В целом оптимизация насосных агрегатов в Узбекистане должна рассматриваться как стратегическое направление, направленное на повышение водной и энергетической безопасности. Модернизация оборудования, внедрение регулируемых приводов, цифровизация управления и обучение персонала обеспечат надёжную, экономичную и долговечную работу насосных систем страны.

Использованная литература

1. Ахмедов Б. Х. *Гидравлические процессы в насосных установках и методы борьбы с кавитацией.* — Ташкент: ТИИМСХ, 2021.
2. Каримов Ш. Р. *Повышение энергоэффективности насосных станций в ирригационных системах Узбекистана.* — Журнал «Мелиорация и водное хозяйство», №3, 2020.
3. Саидов А. М. *Исследование влияния кавитации на ресурс центробежных насосов и пути её снижения.* — Ташкент: Издательство «Фан», 2019.
4. Хамидов Н. Т. *Оптимизация режимов работы насосных агрегатов с применением частотно-регулируемых приводов.* — Материалы Международной конференции ТИИМСХ, Ташкент, 2022.
5. Юлдашев Ф. А. *Современные методы диагностики и цифрового мониторинга насосных систем водного хозяйства.* — Журнал «Энергетика и машиностроение Центральной Азии», №2, 2023.