

НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ КЛАПАНОВ СРЫВА ВАКУУМА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИФОННЫХ ВОДОВЫПУСКОВ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Водовыпускные сооружения насосных станций (НС) в конструктивном отношении являются сложными гидротехническими устройствами, сопрягающими напорные трубопроводы или здание НС с каналом или водохранилищем. Их компоновка должна обеспечивать необходимую прочность и устойчивость, а также иметь рациональную форму с минимальными гидравлическими потерями энергии.

Для крупных НС с агрегатами, имеющими подачу до $40 \text{ м}^3/\text{с}$, наиболее экономичны по стоимости и затратам электроэнергии прямоточные и сифонные водовыпуски с механическими запорными устройствами [1,2]. Такая компоновка нашла применение на крупных средненапорных станциях водохозяйственных и мелиоративных систем.

Надежным и простым устройством, препятствующим обратному току воды из машинного канала в напорный трубопровод, является водослив, гребень которого возвышается над максимальным уровнем воды в канале ($УВВБ_{\text{макс}}$). Водосливная стенка, обычно полигонального очертания, отделяет приемные резервуары, в которые поступает вода из напорного трубопровода, от канала.

Существенным недостатком этого устройства является перерасход электроэнергии, так как высота качания, вне зависимости от $УВВБ$ в машинном канале, определяется горизонтом воды приемного резервуара, зависящего в свою очередь только от отметки гребня водослива и высоты переливающегося слоя воды. Чем больше колебание уровней воды в канале, тем больше будет перерасход энергии.

Кроме того, чтобы увеличивать высоту переливающегося слоя, необходимо развивать фронт водослива, что приводит к довольно громоздким строительным конструкциям, в которых необходимо предусматривать меры по гашению энергии.

Поверхностные водовыпускные сооружения обычно komponуются с горизонтальными агрегатами с двигателем, расположенным над всасывающей трубой, с наклонными и вертикальными агрегатами, т.е. в тех случаях, когда напорный патрубок насоса находится близко к минимальному уровню верхнего бьефа ($УВНБ_{\text{мин}}$).

Водовыпускные сооружения с быстродействующими затворами вследствие их простой формы имеют малое гидравлическое сопротивление, однако их эксплуатация осложняется. При наличии фильтрации в уплотнениях затвора возможны утечки воды из верхнего канала в нижний. Особенно неприятны протечки в момент осмотра и ремонта напорных трубопроводов и насосов.

Для крупных НС по аналогии с гидроэлектростанциями (ГЭС) применялись быстроотпускающие щиты, отделяющие верхний бьеф от напорных трубопроводов. Щиты эти срабатывают при аварийном отключении агрегата и других защит.

Водовыпускное сооружение такого типа не вызывает перерасхода энергии подобно водосливу, но зато требует изготовления и монтажа специального механического и электротехнического оборудования, а также выполнения значительного объема строительных работ.

В обеих компоновках предусмотрена возможность пуска насоса в условиях заполненного канала, т.е. при работающих других агрегатах. Пуск насоса происходит в закрытый плоский затвор.

Для создания равномерного поля скоростей и уменьшения выходных потерь энергии на диффузорном участке водовыпуска целесообразно предусматривать специальные устройства (разделители потока, направляющие стенки и т.п.).

На малых НС обратный клапан-захлопка устанавливается на выходном отверстии концевой диффузора напорного трубопровода. При прямом токе струя воды приоткрывает клапан, вращающийся вокруг оси, закрепленный на верхней кромке выходного отверстия. При остановке агрегата клапан закрывается под действием собственного веса и давления воды со стороны верхнего бьефа.

Такой клапан создает некоторое дополнительное сопротивление движению воды, довольно громоздок, обычно, быстро разрабатывается и не обеспечивает герметичность закрытия. Пересечение стенок водовыпускного сооружения трубопроводом также довольно неконструктивно.

На напорных трубопроводах диаметром более 1,2 м вместо одиночного диска, перекрывающего все выходное отверстие, применяется многодисковый клапан, подвижные диски которого установлены на жесткой стальной раме. Применение подобной конструкции практически ничем не ограничено, за исключением одного - она должна быть очень добротно выполнена: надежные оси и подшипники дисков, жесткая рама, надежны весьма эластичные уплотняющие устройства. Подобный тип запорного устройства применялся на некоторых зарубежных НС [3]

Для низконапорных насосных станций, оборудованных осевыми и диагональными насосами, можно применить клапанный затвор с гидроприводом. Программный подъем затвора обеспечивает оптимальный напор насоса в течение всего времени пуска агрегата, снижает кавитационный износ насосов. Наличие гидропривода позволяет также снизить величину гидравлических потерь напора, исключает вибрацию диска клапана свободном потоке, позволяет осуществить дожим диска для прекращения фильтрации через уплотнения. Этот тип клапана широко применяется на зарубежных станциях.

Сопряжение напорного трубопровода с водовыпускным сооружением при помощи сифона не вызывает перерасхода электроэнергии, так как почти не создает дополнительных сопротивлений. Прекращение обратного тока воды при остановке агрегата достигается срывом вакуума в сифоне с помощью комбинированных электрических, механических и гидравлических клапанов, осуществляющих разрядку сифона путем сообщения зоны вакуума сифона с атмосферой.

Выбор типа водовыпускного сооружения зависит от условий пуска, остановки и количества работающих на один трубопровод основных агрегатов, размеров напорных трубопроводов и амплитуды колебаний УВВБ.

Водовыпускные сооружения с механическими запорными устройствами применяют при любых размерах выходных отверстий напорных трубопроводов, при любых типоразмерах и количествах насосов, работающих на один трубопровод, а также при любых амплитудах колебаний уровней воды в водоисточнике. Для предотвращения обратного тока воды в качестве запорных устройств рекомендуется использовать: клапаны-захлопки однодисковые - при диаметре отверстия напорного трубопровода до 1,2 м включительно и многодисковые - на более крупных сооружениях [3].

Основной недостаток водовыпускных сооружений с механическими запорными устройствами состоит в необходимости применения механического оборудования (основных и ремонтных затворов, подъемно-транспортного оборудования), что значительно усложняет эксплуатацию сооружений. Сифонные водовыпускные сооружения применяют в следующих случаях:

при максимальном статическом вакууме до 6м (превышение капора наивысшей точки сифона над минимальным расчетным уровнем воды в отводящем канале);

если нет ограничения по напору при пуске основных насосов (пуск насосов на незаряженный сифон происходит при повышенном напоре, поскольку в первый момент сифон работает как водослив);

при соотношении подач Q_{\max}/Q_{\min} не более 3 (при большем соотношении подач сифон не обеспечивает работу полным сечением при минимальной подаче, что вызывает излишние потери напора, а следовательно и электроэнергии).

Сифонный водовыпуск представляет собой концевой участок трубопровода, изогнутый таким образом, что верхняя его часть - головное сечение - с некоторым запасом находится над УВВБ_{max}, а верхняя кромка выходного отверстия (шелыга) заглублена под минимальный уровень. В потолок горлового сечения-капор сифона встраиваются КСВ, при открытии которых трубопровод заполняется воздухом при атмосферном давлении и отделяется от верхнего бьефа.

Сифонный водовыпуск работает следующим образом: при пуске насоса вода заполняет напорный трубопровод и выдавливает воздух через открытые клапаны срыва вакуума или подобные устройства в атмосферу. Суммарная площадь этих устройств должна быть достаточной, чтобы повышение давления в сифонном водовыпуске было меньше, чем подтопление шелыги при мини-

мальном уровне воды в сифоне. В противном случае воздух пузырями будет выдавливаться из подшелыги в верхний бьеф, вызывая колебания давления, отрицательно отражающиеся на работе насоса.

После заполнения трубопровода вода переливается через гребень сифона как через водослив. Геометрический напор при этом определяется разностью отметок уровней воды над гребнем сифона и в подводящем канале. Рабочий напор насоса определяется как сумма геометрического напора, потерь в напорном трубопроводе и избыточного давления воздуха, выходящего через клапаны срыва вакуума. уровень воды в нисходящей ветви сифона в этот момент снижается на значение избыточного давления. Вода аэрируется, увлекает за собой воздух и выносит его в верхний бьеф. Давление в сифоне вначале снижается до атмосферного, а затем образуется вакуум.

При появлении вакуума в сифонном водовыпуске горло сифона разобщается с атмосферой. Из сифона удаляются остатки воздуха, он "заряжается", и напор насоса падает до значения, определяемого разницей уровней в отводящем и подводящем каналах и потерями в трубопроводе [1].

Эффективная работа сифонного водовыпуска обеспечивается устойчивым вакуумом и выносом выделяющегося из воды воздуха в верхний бьеф. В процессе зарядки сифона подача насоса увеличивается на 10-15 %, однако условия аэрации потока и выноса воздуха из сифона ухудшаются, так как давление в нем снижается, а уровень воды в нисходящей ветви повышается и пузырькам воздуха приходится преодолевать большее расстояние.

При запланированной остановке заранее, а при внезапной одновременно с отключением электродвигателя производится соединение горлового сечения сифона с атмосферой. Воздух поступает в сифон и разрывает поток, отсекая напорный трубопровод от верхнего бьефа.

Однако практическое внедрение сифонных водовыпусков на НС началось только после отработки надежного в эксплуатации и простого по конструкции клапана или устройства срыва вакуума (КСВ) или (УСВ).

Особенно ответственная роль отводится УСВ в системах "насос - напорный трубопровод-сифонный водовыпуск" с осевыми насосами. Как известно, осевые насосы пускаются на опорожненный напорный трубопровод, поскольку на напорных трубопроводах этих насосов, как правило, отсутствуют запорные органы, их роль выполняют сифонные водовыпуски, гребни которых располагаются всегда выше максимальной отметки воды в верхнем бьефе ($УВВБ_{\max}$). При пуске насоса воды, переливаясь через гребень сифона, постепенно выносит воздух, в результате чего он заряжается. При заряженном сифоне напор насоса определяется перепадом уровней в верхнем и нижнем бьефах НС плюс гидравлические потери в проточном тракте насосного агрегата (НА). Сифонный водовыпуск по сравнению с другими типами водовыпусков имеет наименьшие гидравлические потери.

При остановке насоса обратным током сифон может зарядиться для работы в обратном направлении, чего нельзя допускать, так как перелив воды из отводящего канала обратно в водосточник через насос не только вызывает непроизводительные затраты электроэнергии, но и может привести к аварии. Для исключения этого явления на капоре горла сифона устанавливаются УСВ, через которые путем впуска атмосферного воздуха сифон разряжается. Срыв вакуума при остановке насоса приводит к разрыву сплошности потока, после чего вода стекая с гребня сифона в разные стороны, разобщает бьефы.

Отсюда следует, что от работы УСВ зависит не только эффективность эксплуатации сифонного водовыпуска, но всего насосного блока в целом. УСВ должны обеспечивать:

1. Выпуск воздуха из проточной части при пуске насоса, не допуская выброса воздуха в отводящий канал. Достигается это выбором минимально-необходимого сечения воздухопроводных отверстий при минимальном уровне в отводящем канале ($УВВБ_{\min}$) с учетом напорно-расходной характеристики насоса.

2. Герметичность сифонного водовыпуска при работе НА.

3. Впуск атмосферного воздуха в таком количестве, чтобы обеспечить полный срыв вакуума в сифоне, не допуская его повторной зарядки.

4. Показатель надежности клапана срыва вакуума должен быть близким единице (по ОСТ 26-07-819-73):

5. Время срабатывания клапана от момента установления на гребне сифона $t_{кр}$ до закрытия клапана должно быть минимальным особенно при пуске осевых насосов.

6. Конструкция клапана должна быть экономичной и удобной в эксплуатации

Открытие электрического КСВ осуществляется под действием грузового или пружинного привода от электрического импульса, возникающего при исчезновении напряжения, или подаваемого командой на отключение.

Также как и быстроопускающиеся щиты, сифоны с электрическими клапанами требуют довольно сложного механического и электротехнического оборудования.

В механических КСВ роль напорного органа выполняет металлическая мембрана – тарелка, удерживаемая в закрытом положении с помощью привода и открывающая отверстие клапана под действием вакуума при обесточивании двигателя насоса или по специальному сигналу.

Для надежного отделения напорного водовода от верхнего бьефа время срабатывания клапана не должно превышать 2-3с. При этом показатель надежности срабатывания клапана, определяемый конструкцией и схемой его управления, должен быть близким к I. В конструкции должны быть предусмотрены устройства, предотвращающие самопроизвольное захлопывание клапана при пуске насоса и обеспечивающие плавность хода тарелки и демпфирование ее при закрытии.

Наибольшее распространение получили электрический, гидромеханический и пневматический приводы УСВ. Гидромеханический клапан срыва вакуума использует скоростной напор воды. Он работает автоматически и теоретически должен быть вполне надежен. К недостаткам этого клапана следует отнести некоторое запаздывание его открытия и закрытия при переходных процессах и налипание мусора -добавочное сопротивление в стационарных режимах.

КСВ с электромеханическими или пневматическими приводами могут закрываться по команде, подаваемой от щита управления станции оператором реле времени, включаемом на пульте станции в момент пуска насосов, или специальным датчиком, установленным в сифоне. Последняя схема хотя и перспективна, но наименее надежна.

Обследование НС с механическими КСВ с различными приводами показало, что почти половина их вообще не держит вакуума, а другая половина пропускает воздух в таких количествах, что эффективность работы станции заметно снижается [10,15,34,123].

Основными причинами плохого уплотнения клапанов срыва вакуума, по нашему мнению, являются недостаточная жесткость конструкции, насыщенной слабыми элементами, нарушающими регулировку клапанов буквально после нескольких открытий, низкое качество прокладок, выполненных из резины, не рассчитанной на работу в тяжелых условиях воздействия лучей солнца, одностороннего давления и воздействия текущей воды.

Под руководством Рахимова Ш.Х. проведены испытания КСВ и ГУСВ на НС-1 Каршинского магистрального канала и НС «Шерабад» при пуске и остановке насосов. Были осциллографированы как электрические, так и не электрические величины (давление, подача, УВ и др.).

При решении вопроса о замене электромеханических КСВ на сифонных водовыпусках насосных станций Каршинского магистрального канала (КМК) управление эксплуатации остановило свой выбор на УСВ гидравлического типа. Однако, учитывая то обстоятельство, что сифоны на этих станциях омоноличены бетоном, а с другой стороны – довольно большой диапазон изменения уровней воды в канале верхнего бьефа (1,5м) ни одна из известных конструкций ГУСВ без изменения принята быть не могла. Единственным местом для введения в сифон какой-либо конструкции были отверстия на капоре механических КСВ. Весь период эксплуатации Каршкинских насосных станций велись исследования по доводке КСВ. Усовершенствование КСВ производилось на основе внедренных, на КМК обратных клапанов-вантузов с применением электромагнитной защелки.

Вантузы представляют собой клапаны тарельчатого типа с уплотнительной прокладкой из резины. При пуске насоса в процессе заполнения системы водой в напорном трубопроводе и сифоне создается избыточное давление воздуха, под действием которого клапаны-вантузы приподнимаются, обеспечивая свободный выход воздуха. После удаления воздуха из системы атмосферное давление плотно удерживает тарелки клапанов в закрытом состоянии.

Опыт эксплуатации показывает, что ГУСВ способны обеспечить надежный срыв вакуума при

требуемом диапазоне срабатывания.

Насосная станция «Абай» Кзылординской оросительной системы запроектирована Союзгипрорисом и эксплуатируется с 1984 года. На этой станции по схеме О.Я.Гловацкого были установлены ГУСВ, которые показали надежную работу.

Каскад канала Иртыш-Караганда запроектирован Гидропроектом и эксплуатируется с 1971 года.

Опыт эксплуатации показал, что на НС канала Иртыш-Караганда выброс воздуха через выходное отверстие сифонных водовыпусков наблюдается довольно часто (особенно при $УВВБ_{м.п}$ в отводящем канале в зимнее время), хотя суммарное сечение КСВ составляет 5,3 % от площади сечения горла сифона. С другой стороны опыт эксплуатации насосных станций КМК выявил отсутствие выброса воздуха в отводящий канал при пуске насоса, несмотря на то, что суммарное проходное сечение отверстий КСВ составляет 3,6 % от сечения горла сифона, а средние скорости потока в трубопроводе при его заполнении приблизительно на 15 % больше, чем на насосных станциях канала Иртыш-Караганда [2].

Отсутствие выбросов воздуха в канал верхнего бьефа при пуске насосов на КМК объясняется большим заглублением шельги, минимальная величина которой составляет - 5м, тогда как на канале Иртыш-Караганда всего лишь от 0,5 до 2,5 м.

Негерметичность КСВ на НА станции № 17 канала Иртыш-Караганда приводила к снижению вакуума в сифоне – до I м.в.ст. производительности насосов от 2,5 % до 7 % в зависимости от угла разворота лопастей [1,2]. Задержке или неполное открытие КСВ во время остановки насосного агрегата приводит к полной или частичной повторной зарядке сифона, что, в свою очередь, приводит к затягиванию процесса остановки агрегата и к повышению нестационарных явлений, как в потоке, так и в водоподводящем канале, включая НА и несущие конструкции.

Конструкция клапана должна быть простой в исполнении надежной в эксплуатации и не допускать ложного срабатывания. Иногда из-за неудачной конструкции КСВ, плохого исполнения или обслуживания эксплуатационный персонал, во избежание аварии, отключает КСВ из работы. В результате этого сифонные водовыпуски работают как обычные водосливы, а НА потребляют электроэнергию значительно больше нормы при подаче меньшего количества воды.

Новое ГУСВ с вакуумбаком (рис.) как показал опыт эксплуатации, обладает хорошей надежностью, эффективностью и быстродействием и позволяет обеспечить полную автоматизацию работы насосного агрегата, однако у него есть один недостаток, а именно двух ступенчатость процесса разрыва сплошности потока в горле сифоне при остановке агрегата.

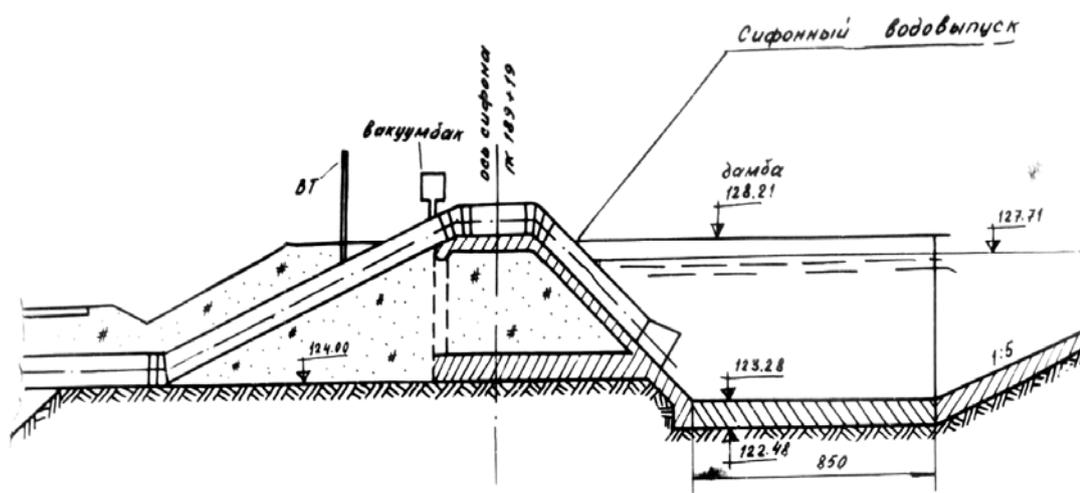


Рис. Сифонный водовыпуск насосной станции на канале Р-2 совхоза «Абай» с вакуум баком

Анализ современного состояния эксплуатации машинных каналов с сифонами и УСВ показывает, что необходимо проведение таких исследований, которые определили бы их возможности

для повышения надежности водоподачи. Такими исследованиями является разработка физических и математических моделей по выбору оптимальных эксплуатационных процессов водоподачи в сифонах НС.

Еще одним нерешенным вопросом является проектирование и эксплуатация УСВ на сифонных водовыпусках НС в энергосберегающих режимах. Опыт эксплуатации показал целесообразность и экономичность работы сифонов: ГУСВ имеют ряд преимуществ перед всеми остальными конструкциями клапанов (автоматичность без специальных систем автоматики, не имеют трущихся и подвижных частей, затрат электроэнергии и т.д.).

Выводы

1. Выявлены особенности эксплуатации НС с УСВ на примере Каршинского магистрального канала, НС "Шерабад" и др. НС Казахстана и Центральной Азии;

2. Определены основные задачи исследований клапанов срыва вакуума при эксплуатации сифонных водовыпусков насосных станций.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гловацкий О.Я. Совершенствование мелиоративных насосных станций // Мелиорация и водное хозяйство. – 1990. - № 1.

2. Баль Б.А., Гловацкий О.Я., Очилов Р.А. Гидравлическое устройство для срыва вакуума на сифонных водовыпусках // Гидротехника и мелиорация. – 1980. - № 3.

3. Рычагов В. В., Третьяков А. А., Пособие по проектированию насосных станций и испытанию насосных установок.— М, 1983.

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