

Гидрометеиздат, 1976. – 120 с.

2. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши / Под ред. П. П. Кузьмина, С. М. Алпатьева. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 96 с.

3. Исмаилов Г. Х., Федоров В. М. Оценка возможных изменений элементов годового водного баланса бассейна Волги // Природообустройство. – 2010. – № 5. – С. 58–64.

4. Исмаилов Г. Х., Федоров В. М.

Межгодовая изменчивость и взаимосвязь элементов водного баланса бассейна реки Волги // Водные ресурсы. – 2008. – Т. 35. – № 8. – С. 259–277.

Материал поступил в редакцию 03.06.11.

Беглякова Татьяна Ивановна, аспирантка кафедры «Гидрология, метеорология и регулирование стока»

Тел. 8-905-781-97-25.

E-mail: tbeglyakova@mail.ru

УДК 502/504:626.83

Д. С. БЕГЛЯРОВ, Д. Ш. АПРЕСЯН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В НАПОРНЫХ СИСТЕМАХ ВОДОПОДАЧИ ПРИ ПУСКАХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

В статье излагаются вопросы, связанные с переходными процессами в напорных системах водоподачи при пуске насосов. Приводится методика расчета по определению параметров насосного агрегата.

Напорная система водоподачи, насосная станция, насос, напорный трубопровод, клапан для впуска и заземления воздуха, обратный клапан, переходные процессы.

There are stated questions connected with transients in pressure water supply systems under pumps starting. The calculation method is given on determination of the pump aggregate.

Pressurized water supply system, pump station, pump, pressure pipeline, air admission and jamming valve, back-pressure valve, transients.

При изменении режимов работы насосных станций в их элементах возникают гидромеханические переходные процессы. По частоте повторения и месту, занимаемому в рабочем процессе станции, переходные процессы можно разделить на основные и особые.

Основные переходные процессы – «нормальный» пуск насосного агрегата; зарядка и разрядка сифонного водовыпуска или открытие и закрытие затвора; изменение подачи насоса с помощью разворота лопастей рабочего колеса или изме-

нение частоты вращения агрегата; «нормальная» остановка агрегата – являются необходимой частью рабочего процесса станции и повторяются каждый раз при изменении режима ее работы [1].

Особые переходные процессы – это работа насоса в неустойчивой зоне характеристики, отключение двигателя насоса от сети без отключения напорного водовода от верхнего бьефа, пуск насоса при закрытом клапане срыва вакуума на сифонном водовыпуске. Указанные режимы не являются обязательными для эксплуата-

ции насосной станции, однако они встречаются при пуске насосного агрегата.

Необходимо указать на различные условия пуска агрегатов с осевыми и центробежными насосами. У осевого насоса момент сопротивления с увеличением подачи уменьшается, у центробежного – возрастает. Поэтому пуск центробежных насосов целесообразно осуществлять при наименьшей подаче (нулевой), а осевых – при максимальной. На практике наиболее часто пуск центробежных насосов осуществляют при закрытых запорных устройствах на их напорных линиях и, как уже было указано, переходные процессы в этом случае происходят лишь в самих насосных агрегатах. Однако если в процессе пуска насоса одновременно будет происходить открытие полностью закрытого к началу пуска запорного устройства, то насос после его пуска станет уже связан с напорным трубопроводом и переходный процесс распространится на всю систему водоподачи [2].

Это происходит в следующих случаях: при пуске центробежных насосов на опорожненный трубопровод; при первичном заполнении напорных трубопроводов; после аварийных отключений насосов при отсутствии на их напорных линиях обратных клапанов.

При пуске насосов на опорожненные водоводы предполагается, что обратные клапаны на напорных линиях отсутствуют (статический напор в момент пуска равен нулю). Движение воды в водоводе в этом случае начнется непосредственно с момента пуска насоса. Возникающая в начале водовода волна повышения давления будет распространяться по его длине и через определенный интервал времени достигнет границы водовода, заполненной водой. Это отразится волной понижения давления, граница, заполненная водой, будет непрерывно изменять свое положение, отражение волн будет происходить от переменного уровня, который определяется профилем водовода. Кроме этого, при расчете пуска насосов необходимо учитывать отражение волны, обусловленное гидравлическим сопротивлением водовода.

В процессе пуска момент, развиваемый электродвигателем, должен быть больше момента, потребляемого насосом.

Разность этих моментов обеспечивает увеличение частоты вращения ротора насосного агрегата. Одновременно с увеличением частоты возрастает и напор, развиваемый насосом. При частично открытом запорном устройстве через него будет поступать расход воды Q_n . Разность между напорами насоса и в трубопроводе будет равна потерям напора в запорном устройстве:

$$H_n - H_{тр} = SQ_n^2.$$

На напорных линиях осевых насосов в подавляющем большинстве случаев запорную арматуру не устанавливают, поэтому при пуске напорные трубопроводы всегда опорожнены. Пуск происходит так же, как и для центробежных насосов, но напор насоса почти равен напору в начале напорного трубопровода.

Параметрами, определяющими режим пуска, являются: частота вращения ротора насосного агрегата; момент, развиваемый двигателем, и момент, потребляемый насосом. Пуск центробежных насосов необязательно осуществлять при закрытой запорной арматуре на напорных линиях насосов. Необходимо, чтобы в процессе пуска было противодействие воды, поэтому пуск можно проводить при заполненном трубопроводе. Тарель обратного клапана начнет открываться только после того, как напор, развиваемый запускаемым насосом, станет больше напора в трубопроводе. После открытия тарели движение воды начнется сначала лишь в части трубопровода, примыкающего к обратному клапану, так как вода в этой части будет сжиматься, труба расширяться и повышение давления будет распространяться в виде волны по длине трубопровода. Напор в трубопроводе при пуске не может превысить напора насоса, развиваемого им при нулевой подаче. Однако это справедливо лишь для трубопровода, полностью заполненного водой, например, когда трубопровод проложен с непрерывным подъемом от насосной станции. Если трубопроводы имеют переломы профиля, то переходные режимы при пуске насосов могут протекать более сложно, так как при отключении насосов в повышенных местах трубопроводов могут образоваться разрывы сплошности потока. В процессе пуска может произойти соударение

разошедшихся колонн воды со значительным повышением давления в трубопроводе. При пуске насосов на частично заполненные водоводы также предполагается, что на напорных линиях установлены обратные клапаны, но после выключения насосов в этом случае происходит сброс воды из водоводов, например: через обводные линии к обратным клапанам, через предохранительные клапаны или клапаны-газители, установленные в начале водовода. В момент пуска обратные клапаны будут находиться под давлением со стороны водоводов, соответствующим отметке, до которой заполнен водовод. В тех случаях, когда водоводы, при наличии на напорных линиях насосов обратных клапанов, полностью или частично заполнены водой, в начальный период пуска (до момента, пока развиваемый насосом напор не превышает статический) движения воды в трубопроводе не происходит, а возрастание частоты вращения вала насосного агрегата, изменение развиваемого насосом напора и потребляемого им момента зависит только от характеристик насоса и двигателя. Увеличение развиваемого насосом напора сверх статического вызывает закрытие обратных клапанов и движение воды в трубопроводе. С этого момента режим работы насосов необходимо рассматривать с учетом процесса гидравлического удара в водоводе [3, 4].

Пульсации давления в проточном тракте, нагрузки, воспринимаемые гидромеханическим оборудованием и элементами конструкций насосных станций, напряжения и вибрации, возникающие в них, при переходных процессах значительно превосходят средние значения в рабочих режимах, и, несмотря на кратковременность приложения нагрузки, являются определяющими при расчете на прочность элементов насосных станций.

Характер протекания переходных процессов определяется составом и компоновкой сооружений насосной станции, действующим напором, конструкцией и характеристиками установленных насосов, конструкцией и местом установки затворов.

В процессе пуска насосный агрегат проходит ряд последовательных этапов: трогание из состояния покоя, набор син-

хронной частоты вращения и синхронизации; увеличение напора в момент заполнения трубопровода при синхронных оборотах; срабатывание запорных устройств при повышенном напоре; выход на расчетный режим.

Характерной особенностью осевых насосов является увеличением гидродинамического момента на валу с увеличением напора, поэтому для облегчения условий работы двигателя пуск насосов производится на предварительно опорожненный от воды трубопровод. У диагональных насосов момент на валу, как правило, не зависит от напора, и с точки зрения пускового момента пуски на заполненный и опорожненный водовод одинаковы.

Если на напорных линиях насосов установлены обратные клапаны, то в начальный период пуска насосов они закрыты давлением воды со стороны водоводов. Таким образом, подача воды насосами в рассматриваемый момент времени t_j :

$$Q_{\text{НЛ}} = 0.$$

После открытия обратных клапанов, а также при их отсутствии количество воды, подаваемой насосом, должно быть определено с учетом неустановившегося движения воды в водоводе.

Для расчета пуска насосов на открытую задвижку подготавливается следующая схема. Водовод, в который подается вода, разбивается по длине на определенное число участков. Длины участков разбивки Δl принимаются одинаковыми, если скорость распространения волн изменения давления a постоянна по всей длине водовода.

Время $\Delta t = \Delta l/a$ пробега волн изменения давления по любому участку разбивки будет одним и тем же. Поэтому в расчетный момент времени t_j к i -й точке разбивки водовода подойдет волна изменения давления $\psi_{i(i+1)}$, распространяющаяся по направлению скорости движения воды при нормальном режиме работы, вышедшая из точки $i-1$ в момент времени t_j , и волна $\psi_{i(i+1)}$, распространяющаяся в противоположном направлении, вышедшая из точки $i+1$ также в момент времени t_j .

При расчете принимается, что гидравлическое сопротивление водовода по длинсконцентрированоспротивлениях-диафрагмах, расположенных в некоторых

точках разбивки водовода на участки.

Если на напорных линиях насосов установлены обратные клапаны, то в начальный период пуска насосов они закрыты давлением воды со стороны водоводов. Таким образом, подача воды насосами в рассматриваемый момент времени t_j : $Q_{Hj} = 0$. После открытия обратных клапанов, а также при их отсутствии количество воды, подаваемой насосом, должно быть определено с учетом неустановившегося движения воды в водоводе.

С помощью разработанной методики рассмотрены случаи, когда подача воды производится по нескольким параллельно работающим водоводам одинакового диаметра и на станции установлены насосы одного типа. При этом условия количество воды, подаваемой одним насосом в рассматриваемый момент времени t_j ,

$$Q_{Hj} = v_{0j} \omega \frac{n}{n_{тр}}$$

где v_{0j} – скорость движения воды в начале водовода в рассматриваемый момент времени t_j ; n – число параллельно работающих насосов; $n_{тр}$ – число параллельно работающих водоводов.

Величина скорости при неустановившемся движении воды может быть определена по формуле

$$v = v_0 + \frac{g}{a}(\varphi - \psi),$$

где v_0 – начальное значение скорости воды (в случае пуска насосов $v_0 = 0$); g – ускорение свободного падения; a – скорость распространения волн изменения давления; φ и ψ – сумма волн изменения давления, распространяющихся соответственно по направлению движения воды при нормальном режиме работы и против этого направления.

Значение напора при неустановившемся движении воды определяется так: $H = H_0 + \varphi + \psi$,

где H_0 – начальное значение напора, $H_0 = H_{ст}$.

Поскольку длина всасывающей линии насосов обычно незначительна, при расчете гидравлического удара в большинстве практических случаев допускается не учитывать их длину. В этом случае насосная станция расположена в начальной точке водовода.

Формулы для определения скорости и напора в начале водовода в момент времени t_j могут быть записаны в следующем виде:

$$v_{0j} = \frac{g}{a}(\varphi_{0j} - \psi_{1,(j-1)});$$

$$H_{0j} = H_0 + \varphi_{0j} + \psi_{1,(j-1)}.$$

Развиваемый насосом напор отличается от напора в начале водовода на величину потерь в коммуникациях насосной станции:

$$H_{Hj} = H_{0j} + k_H |v_{0j}| v_{0j} =$$

$$= H_0 + \varphi_{0j} + \psi_{1,(j-1)} - k_H |v_{0j}| v_{0j},$$

где k_H – коэффициент, характеризующий гидравлическое сопротивление всасывающих и напорных коммуникаций насосной станции (с учетом местных сопротивлений).

Величина напора H , развиваемого насосом, определяется по его характеристике $Q/\beta - H/\beta^2$ в зависимости от количества подаваемой им воды Q и относительной частоты вращения $\beta = n/n_0$ (n_0 – частота вращения, соответствующая нормальному режиму работы насоса). Характеристики насоса берутся из каталога.

Вывод

Методика позволяет проводить расчет пуска на открытие задвижки при различной степени заполнения водоводов: полностью заполненных, частично заполненных, опорожненных (до настоящего времени не учитывалось).

1. **Картвелишвили Л. Н.** Гидравлический удар: основные положения и современное состояние теории // Гидротехническое строительство. – 1994. – № 9. – С. 49–54.

2. **Алышев В. М., Масс Е. И.** Рекомендации по расчету неустановившегося движения многофазной жидкости в напорных системах. – М.: ЦНИИС МТС СССР, 1984. – 104 с.

3. **Бегляров Д. С.** Повышение надежности и эффективности работы закрытых оросительных систем. – М.: МГУП, 1996. – 140 с.

4. **Вишневский К. П.** Переходные процессы в напорных системах водоподачи. – М.: Агропромиздат, 1986. – 135 с.

Материал поступил в редакцию 05.04.11.

Бегляров Давид Суренович, доктор технических наук, профессор

Тел. 8-499-976-11-85

Апресян Давид Шамилевич, аспирант

Тел. 8-926-569-34-34