

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ С ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ

Д.А. ОБИДЖОНОВА

магистрант гр. 102М-24 ЭССС (ТашГТУ)

Научный руководитель О.Ё. НУРМАТОВ

доцент (ТашГТУ)

г. Ташкент

Опыт эксплуатации гидроэнергетических установок (ГЭУ) показывает, что наибольшее число аварий основного и вспомогательного оборудования происходит при маневрировании, пусках и остановках агрегатов, т.е. при переходных процессах. Продолжительность переходных процессов обусловлена параметрами оборудования и сооружения, компоновочными особенностями агрегатного блока, условиями работы в энергетических и водохозяйственных системах.

Переходные процессы характеризуются значительным увеличением динамических нагрузок на элементы оборудования и строительных конструкций. Увеличение динамических нагрузок в переходных режимах работы при качественно собранном и исправном оборудовании обусловлено в первую очередь повышенной интенсивностью пульсаций давления на стенки проточной части гидросооружений.

Развитие исследований переходных процессов в гидроэнергетических установках до последнего времени осуществлялось по двум основным направлениям, а именно: изучение гидромеханических процессов в водоводах и гидромашине, изучение электромеханических процессов в гидрогенераторе и в энергосистеме. Совместному исследованию этих составляющих единого процесса уделялась мало внимания, за исключением работ [24, 25], в которых данный вопрос существенно затронут.

Следует отметить, что вибрация оборудования значительно возрастает при увеличении интенсивности пульсации гидродинамического давления на стенках проточного тракта гидроагрегата, что может привести к катастрофическим последствиям. При этом максимальные значения вибрации параметров зачастую превышают допустимые, установленные по нормам. Такой процесс наблюдался при аварии на Саяно-Шушенской ГЭС [102].

Насосные станции, как и другие гидроэнергетические объекты (ГЭС, ГАЭС) могут работать как в установившихся, так и в переходных режимах. При работе в установившемся режиме все основные энергетические и

гидравлические параметры поддерживаются постоянными. Обеспечиваются следующие условия: расход $Q = \text{const}$, напор $H = \text{const}$, частота вращения $n = \text{const}$, мощность $N = \text{const}$.

Переходные процессы подразделяются на нормальные эксплуатационные, которые возникают согласно графику работы станции, например, многократные изменения режима работы насосной станции за определенное время (за сутки, в течении часа), в соответствии с режимом орошения, аварийные переходные процессы связанные с внезапным отключением питания насоса и т.д [58].

Продолжительность нормальных эксплуатационных переходных процессов обусловлена параметрами оборудования и сооружений насосной станции, условиями ее работы в энергетической и водохозяйственной системах и в конце переходного процесса значения параметров режима всегда стремятся к номинальным.

Аварийные переходные процессы происходят при заклинивании лопастей рабочего колеса насоса, внезапном отключении агрегатов от энергосистемы, что приводит к потере привода насосной станции и т.д. При этом наблюдается существенное изменение режима работы оборудования, так как происходят отклонения от номинальных значения электромагнитных, механических и гидравлических параметров силовых элементов насосной станции. Устанавливаемые в конце процесса значения параметров режима могут отличаться от номинальных.

Переходные процессы являются более опасными для оборудования и сооружений, чем установившиеся, и должны учитываться при проектировании и эксплуатации. Переходные процессы могут в значительной степени влиять на выбор основного и вспомогательного оборудования, конструкцию и параметры водопроводящих сооружений. Поэтому необходимо производить оптимизацию параметров насосной станции с одновременным учетом переходных процессов, возникающих при нормальной эксплуатации и при прогнозируемых аварийных режимах. Длительное время переходного процесса может явиться причиной недопустимого нагрева обмоток агрегатов НС, поэтому и следует проверять их на нагрев при пуске, в необходимых случаях устанавливать двигатели повышенной мощности.

При аварийном отключении агрегатов насосной станции от электросети насосы переходят в турбинный режим работы. При этом может оказаться, что угонная частота вращения в турбинном режиме существенно превысит допустимую частоту по условиям крепления обмоток ротора или прочности отдельных узлов насоса.

Переходные процессы могут вызвать также значительные динамические нагрузки на элементы проточной части насосных агрегатов и сооружений. Они, как правило, сопровождаются пульсациями гидродинамического давления и усилий в элементах гидромашин, повышенной вибраций узлов оборудования и строительной части сооружения. При этом возможны резонансные явления. В этом случае необходимо предусматривать специальные тормозные устройства или установку специальных быстродействующих затворов [1,11].

Для проведения расчетов необходима обширная исходная информация: по электродвигателю - мощность, номинальная частота вращения, момент инерции, напряжение в сети, эквивалентные сопротивления обмоток якоря, активное сопротивление рассеяния статора, активные сопротивления продольного и поперечного демпферных контуров, активное сопротивление обмотки возбуждения и основные параметры автоматического регулирования возбуждения:

- по внешней сети - активное и индуктивное сопротивления;
- по гидромашине - диаметр рабочего колеса и его четырехквadrантная характеристика;
- по водопроводящему тракту – отметки бьефов, а также начальной, конечной и характерных точек водовода.

Задаются также следующие показатели: число параллельно работающих водоводов, число насосов, работающих на водовод, гидравлические сопротивления водовода или его частей, отметки уровней воды в источнике и напорном бассейне и вид присоединения водовода к напорному бассейну.

Следует подчеркнуть, что расчеты гидравлических ударов в водоводах требуют высокой точности их выполнения, а также точного задания граничных и начальных условий [91].

Методики расчета гидравлического удара в водоводах предполагают установление взаимосвязи электромеханических, механических и гидравлических процессов.

Переходные процессы в водоводах гидроэнергетического объекта могут сопровождаться не только разрывом сплошности потока, но и значительными гидравлическими ударами без разрыва сплошности. Напор в трубопроводе НС при гидравлическом ударе может достичь значения

$$H = \frac{c_v v_0}{g} + 3H_{CT}, \quad (1.1)$$

где $H_{ст}$ - статический (геометрический) напор; c_v - скорость распространения ударной волны; v_0 - начальная скорость движения воды в трубопроводе.

При выборе параметров водоводов и оборудования насосной станции необходимо моделировать переходный процесс и гидравлический удар с целью выявления параметров их протекания и принятия специальных мер по предотвращению разрыва сплошности потока и резкому снижению величин гидравлического удара.

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

Основные переходные процессы – «нормальный» пуск насосного агрегата; открытие и закрытие затвора; изменение подачи насоса с помощью разворота лопастей рабочего колеса или изменение частоты вращения агрегата; «нормальная» остановка агрегата. Эти операции являются необходимой частью рабочего процесса станции и повторяются каждый раз при необходимости изменения режима ее работы.

К особым переходным процессам относится работа насоса в неустойчивой зоне характеристики, в так называемом режиме «седла» или «помпаж»; при «потере привода» – отключении двигателя насоса от сети без отключения напорного водовода от верхнего бьефа; пуск насоса при закрытом клапане срыва вакуума на сифонном водовыпуске и т.д. Указанные режимы не являются обязательными при эксплуатации насосной станции, однако они встречаются вследствие гидравлического удара при пуске насоса, ухудшении действительных характеристик насосов вследствие неисправностей, возникающих в энергосистеме и непосредственно на насосной станции; ошибок эксплуатационного персонала и, наконец, из-за недоучета возможных колебаний нижнего бьефа насосной станции.

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 их средние значения в рабочих режимах и, несмотря на кратковременность их приложения, 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.

Многообразие компоновок насосных станций и напорных трубопроводов гидротехнических систем по этим признакам можно разделить на следующие основные группы:

- насосные станции с индивидуальными для каждого насоса напорными водоводами и сифонными водовыпусками;
- низконапорные насосные станции с короткими индивидуальными напорными водоводами с затворами на водовыпуске;
- насосные станции с общими для нескольких агрегатов напорными водоводами или длинными водоводами, не опоражниваемыми после остановки агрегата.

В процессе пуска насосный агрегат проходит ряд последовательных этапов:

- трогание из состояния покоя, набор синхронной частоты вращения и синхронизация;
- увеличение напора при заполнении трубопровода при синхронных оборотах;
- работа при повышенном напоре до срабатывания запорных устройств;
- выход на расчетный режим.

Характерной особенностью осевых насосов является увеличение гидродинамического момента на валу с увеличением напора, поэтому для облегчения условий работы двигателя пуск насосов производится, как правило, на предварительно опорожненный от воды трубопровод. Исключение составляют насосные станции систем охлаждения конденсаторов ТЭС и АЭС, в которых допускается увеличение пускового момента вследствие большой длины напорных водоводов [24, 68].

Нормальная остановка насосного агрегата осуществляется отключением насосного агрегата от сети с отделением напорного трубопровода от верхнего бьефа. В насосных станциях с сифонными водовыпусками или затворами на конце индивидуальных водоводов это отделение может производиться заблаговременно, одновременно с отключением насоса или с некоторой задержкой. Вода из напорного водовода стекает в процессе остановки через **погружные насосы** в нижний бьеф. Отсутствие запорных устройств у насоса делает режим остановки наиболее неблагоприятным из нормальных переходных режимов работы агрегата, поскольку опорожнение трубопровода вызывает вращение насосного агрегата в обратную сторону, сопровождающееся значительными динамическими нагрузками.

В насосных станциях с длинными лежащими полого водоводами их опорожнение может затянуться настолько, что будет представлять опасность для прочности насоса. В таких компоновках для облегчения остановки предусматривают арматуру (обратные клапаны, дисковые затворы), предотвращающую слив воды из трубопровода. Обратные клапаны закрываются при смене направления движения воды, их закрытие сопровождается гидравлическим ударом, требующим увеличения прочности напорного трубопровода.

В общем случае в процессе остановки агрегат может проходить следующие этапы:

- повышение напора при срыве вакуума в сифоне или закрытии затвора;
- отключение двигателя от сети и снижение частоты вращения в тормозном насосном режиме до момента смены направления движения воды;
- режим противотока, в котором при насосном направлении вращения насоса поток движется из напорной на всасывающую сторону насоса. Этот режим заканчивается остановкой насоса и реверсом направления его вращения;
- турбинный режим, в котором насос раскручивается в обратную сторону до наступления соответствия частоты вращения напору;
- разгонный режим;
- тормозной турбинный режим, заканчивающийся при стекании воды из напорного трубопровода или закрытии обратного клапана;
- обратный насосный режим, в котором происходят подача воды в нижний бьеф и полная остановка насоса.

Потеря привода насоса происходит при отключении электродвигателя насоса от сети без отделения трубопровода от верхнего бьефа. Насос может вращаться с разгонной частотой вращения в обратном направлении до сработки верхнего бьефа. Динамические нагрузки при этом столь велики, что после разгона рекомендуется проводить ревизию агрегата. Пуск на закрытый клапан срыва вакуума на сифонном водовыпуске может происходить при отказе системы автоматики или преждевременном его закрытии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аллаев К.Р., Хохлов В.А. Управление энергогидравлическими режимами крупных насосных станций // Вестник ТашГТУ, 2005. № 3. С. 64-70.

2. Хохлов В.А. Энергосберегающие режимы работы насосов и насосных станций с длинными трубопроводами. /Дисс. докт. техн. наук. На правах рукописи – Ташкент. 2009. 253с.

3. Аллаев К.Р., Хохлов А.В., Хохлов В.А. Разработка нормативов энергопотребления и энергосберегающих технологий насосов и насосных станций. /Сборник научных статей «Актуальные проблемы обеспечения интеграции науки, образования и производства», Ташкент, 2008 С. 459.

4. Хохлов А.В., Хохлов В.А. Методы регулирования режимов работы крупных насосных станций // Мелиорация и водное хозяйство. -М.:– 2000. № 1. – С. 25-26.

5. Хохлов А.В., Хохлов В.А. Возможности снижения потребления электроэнергии на насосных станциях // Гидротехническое строительство. - М., 2002. № 9. – С. 28-30.

6. Кривченко Г.И. Расчеты на микрокалькуляторах переходных процессов в гидроэлектростанциях. М.: Энергоатомиздат, 1989. 136 с.

7. Гидромеханические переходные процессы в гидроэнергетических установках/ Под ред. Г.И. Кривченко – М.: Энергия 1975. – 367с.

8. Гидроэлектрические станции. /Под ред. Ф.Ф. Губина и Г.И. Кривченко – М.:Энергия,1980. – 368с.

9. Гидроэнергетические установки. /Под ред. Щавелева Д.С. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 516с.

10.

Г.И. Кривченко. Гидравлические машины. Турбины и насосы.-М.: Энергия. 1978, 162 с.

11.

Гидромеханические переходные процессы в гидроэнергетических установках/ Под ред. Г.И. Кривченко – М.: Энергия 1975. – 367с.

12.

Проектирование насосных станций и испытание насосных установок: Учебное пособие / Чебаевский В.Ф., Вишневский К.П., Накладов Н.Н. – М.: Колос, 2000. – 376 с.