

Лабораторная работа 12

УПРАВЛЕНИЕ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ПОДАЧИ ЖИДКОСТИ

Для значительной группы насосных установок экономичный режим обеспечивается стабилизацией давления (напора) в системе подачи жидкости. К таким установкам относятся насосные станции второго и третьего подъёмов промышленных и городских водопроводов, насосные станции подкачки, станции закрытых систем орошения и им подобные.

Необходимость стабилизации напора в сети этих станций обусловлена переменным характером режима водопотребления. Вероятностный характер водопотребления требует непрерывных изменений в режиме работы насосной установки. Изменения должны выполняться так, чтобы поддерживались требуемые значения технологических параметров (подач, напоров) в системе в целом и одновременно обеспечивалось минимально возможное энергопотребление насосной установки.

Эта задача решается *системой автоматического управления* (САУ) насосной установки, стабилизирующей напор в сети по заданному значению. Стабилизировать напор во всех точках сложной разветвленной сети практически невозможно. Поэтому речь может идти о стабилизации напоров в некоторых отдельных точках сети, называемых *диктующими*. В качестве диктующих выбирают точки, обеспечение нормального напора в которых гарантирует поддержание таких же или более высоких напоров в остальных точках сети. В качестве диктующей точки выбирается участок водопроводной сети, расположенный на наиболее высоких геодезических отметках и наиболее удаленный от насосной станции в гидравли-

ческом отношении, т. е. тот участок, до которого потери напора имеют наибольшие значения.

Местоположение диктующих точек определяется гидравлическим расчетом сети или опытным путем, а также по результатам длительных эксплуатационных наблюдений. При существенном перераспределении потоков воды в сети диктующая точка может менять свое местоположение. При работе сети совместно с насосными станциями, близко выдвинутыми к потребителям, например станциями подкачки, диктующая точка может располагаться на напорном коллекторе станции.

Основным параметром регулирования в системах, стабилизирующих давление в сети, является напор в диктующей точке (точках). Стабилизация напора в диктующей точке обеспечивает необходимый минимум напора в сети и снижает потребление энергии, расходуемой насосной станцией на подачу воды.

Ниже рассмотрен процесс стабилизации напора в диктующей точке на примере *простой неразветвленной* водопроводной сети. Предположим, что на станции работает один насос (рис. 3.1). Для нормального водоснабжения потребителей в диктующей точке *A* должен поддерживаться так называемый свободный напор $H_{св}$. Точка *A* расположена на отметке Z_2 выше уровня воды в резервуаре. Потери напоров в водоводе зависят от значений расхода во второй степени. Следовательно, насосу, чтобы поднять воду с отметки Z_1 на отметку Z_2 , преодолеть гидравлическое сопротивление и обеспечить заданный свободный напор, необходимо развить напор воды

$$H = (Z_2 - Z_1) + H_{св} + SQ^2. \quad (3.1)$$

Графически зависимость требуемого напора на выходе из насосной станции от расхода изображена кривой *1* на рис. 3.2. Если эта зависимость соблюдается, в диктующей точке поддерживается стабильный требуемый напор $H_{св}$.

Однако этот напор при работе насоса с постоянной частотой вращения поддерживается только в режиме максимальной подачи. В остальное время, когда насос работает с пониженной подачей, например в 7 ч, система работает с повышенным напором. На рис. 3.2 показано, как изменяется напор в различное время суток в зависимости от изменения подачи воды насосной установкой.

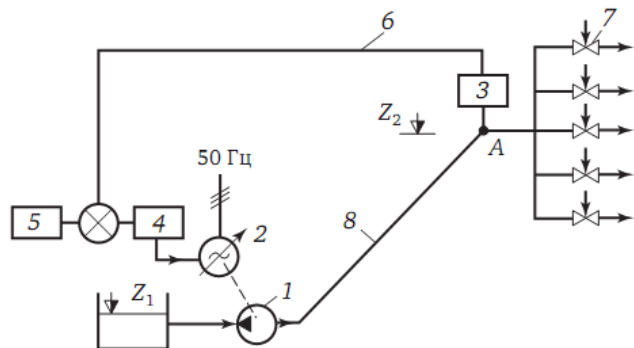


Рис. 3.1. Принципиальная схема стабилизации напора в диктующей точке А водопроводной сети:

1 — центробежный насос; 2 — регулируемый электропривод; 3 — датчик давления; 4 — ПИ-регулятор; 5 — задающее устройство; 6 — канал связи; 7 — водоразборные устройства; 8 — водовод

Чтобы насосная установка работала без превышения напора при любом водопотреблении, необходимо оснастить ее соответствующей системой автоматизированного управления (САУ), имеющей в своем составе РЭП. Такая система состоит из насосного агрегата, укомплектованного регулируемым электроприводом, датчика давления, пропорционально-интегрального регулятора (ПИ-регулятора), задающего устройства и каналов связи между преобразователем и регулятором (см. рис. 3.1). Задающее устройство (задатчик значения регулируемого параметра) определяет требуемое значение напора в диктующей точке водопроводной сети.

Сигналы от датчика давления, установленного в диктующей точке сети, и от задающего устройства поступают в ПИ-регулятор, где они сравниваются между собой, соответствующим образом обрабатываются и затем передаются в систему управления регулируемого электропривода насосного агрегата.

Если напор в диктующей точке выше заданного значения, то в РЭП поступает команда на уменьшение частоты вращения электродвигателя насоса, и наоборот. Изменение частоты вращения насоса прекращается при соответствии напора в диктующей точке заданному значению.

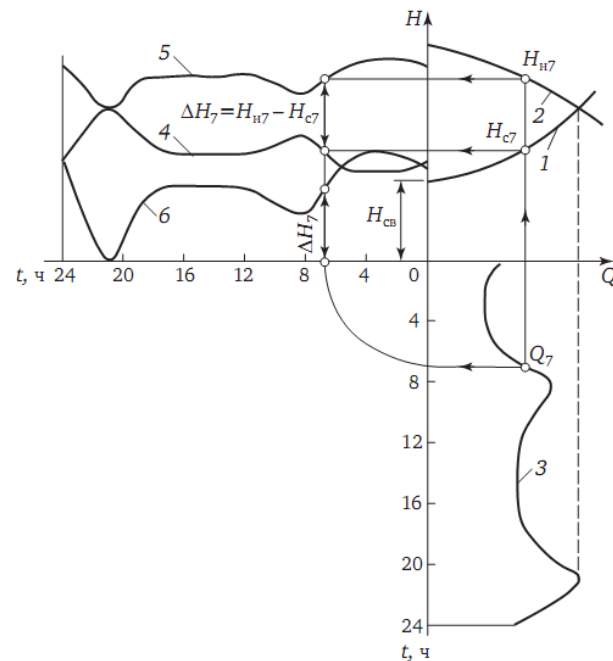


Рис. 3.2. Графики суточных изменений напоров, развиваемых насосной установкой:

1 — характеристика трубопровода; 2 — напорная характеристика насоса; 3 — график водопотребления; 4 — требуемый напор на выходе насосной станции; 5 — фактический напор на выходе насосной станции; 6 — изменения во времени избыточного напора

Процесс регулирования идет следующим образом. В некоторый момент времени t_1 насос работает с частотой вращения n_1 , подачей Q_1 и напором H_1 (рис. 3.3). Этому режиму соответствуют потери напора $h_{дин1}$. Тогда напор в диктующей точке А (см. рис. 3.1) равен $H_A = H_1 - h_{дин1}$. Будем считать, что этот напор в начале процесса соответствует заданному значению напора в диктующей точке $H_{зад}$.

Предположим, что в следующий момент времени t_2 потребитель, закрывая один из водоразборных кранов, уменьшает отбор воды из системы. Уменьшенной подаче насоса Q_2 соответствуют возросший напор H_2 и пониженные потери напора $h_{дин2}$. Вслед-

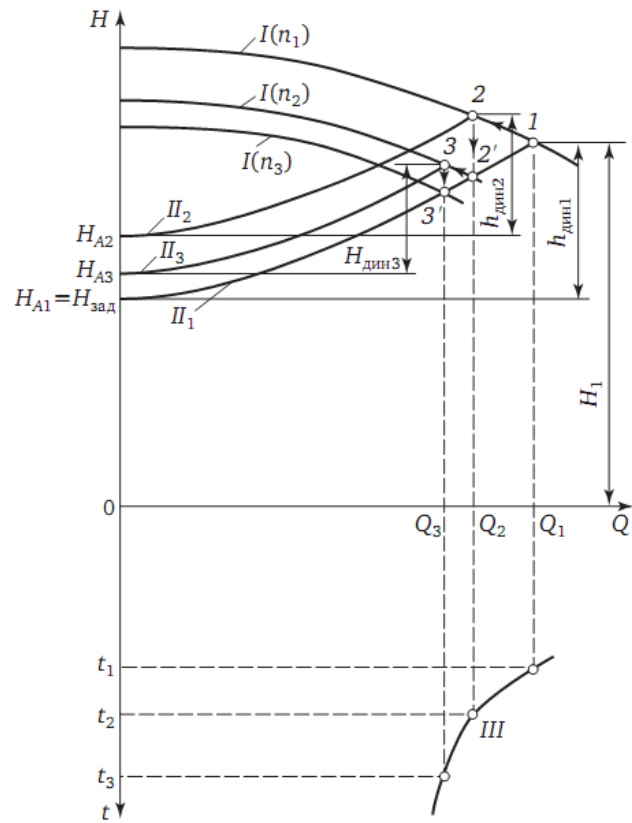


Рис. 3.3. Процесс стабилизации напора в диктующей точке А (см. рис. 3.1): $I(n_1)$, $I(n_2)$, $I(n_3)$ — характеристики регулируемого насоса при n_1 , n_2 , n_3 соответственно; II_1 , II_2 , II_3 — характеристики водовода в разные моменты времени t_1 , t_2 , t_3 соответственно; III — график водопотребления

ствие происшедших изменений в режиме работы системы напор в точке А можно записать в виде $H_{A2} = H_{2H} - h_{дин2}$. Как видно из рис. 3.3, H_{A2} больше заданного значения напора $H_{зад} = H_{A1}$. Сигнал датчика давления, установленного в точке А, сравнивается с сигналом задающего устройства. Преобразованный сигнал рассогласования поступает в систему управления регулирующего привода. Под его воздействием частота вращения начнет уменьшаться до тех пор, пока напор в диктующей точке не примет опять заданного значения: $H_{зад} = H_{A1}$.

При изменении частоты вращения напорная характеристика насоса займет положение, соответствующее частоте вращения n_2 , а на коллекторе насосной станции установится новое значение напора H_2 . Таким образом, рабочая точка насоса на графике последовательно занимает положение 1, затем 2 и, наконец, 2' (см. рис. 3.3).

Если вследствие закрытия другого водоразборного крана произойдет дальнейшее уменьшение водопотребления до значения Q_3 , рабочая точка насоса последовательно переместится из точки 2' в точку 3, а затем 3'. В этом случае в результате действия САУ напорная характеристика насоса перемещается в положение, соответствующее частоте вращения n_3 .

Система управления настраивается так, чтобы изменения частоты вращения происходили при малых отклонениях значений напора в диктующей точке от заданных значений. По этой причине криволинейные треугольники 1, 2, 2' и 2', 3, 3' на графике имеют небольшие размеры. Вследствие этого рабочая точка насоса практически плавно перемещается по характеристике трубопровода и, следовательно, система работает без превышения напоров, т. е. в экономичном режиме.

Процесс стабилизации напора в диктующей точке сети при работе нескольких насосных агрегатов происходит сложнее. Если все работающие агрегаты оборудованы РЭП, процесс регулирования идет аналогично тому, как это описано выше, с тем отличием, что команда об изменении частоты вращения поступает одновременно на все работающие насосные агрегаты. Тогда частота вращения работающих агрегатов изменяется синхронно, и вследствие этого одновременно и единообразно изменяют свое положение напорные характеристики всех насосов. Благодаря этому рабочие параметры регулируемых насосов (подача, напор, КПД и др.) изменяются одинаково и, следовательно, распределение нагрузок между работающими насосными агрегатами происходит равномерно.

Более сложно решается задача в тех случаях, когда работают одновременно регулируемые и нерегулируемые насосные агрегаты. В этом случае процесс регулирования осуществляется изменением частоты вращения регулируемых агрегатов и последовательным изменением числа работающих нерегулируемых насосов.

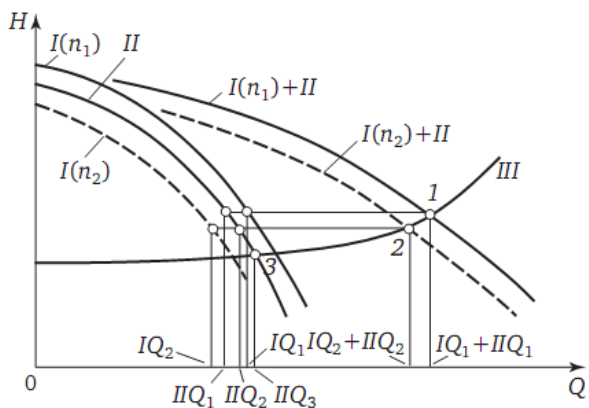


Рис. 3.4. График совместной работы сети и насосов (регулируемого и нерегулируемого):

$I(n_1)$ — напорная характеристика регулируемого насоса при частоте вращения n_1 ; $I(n_2)$ — то же при n_2 ; II — напорная характеристика нерегулируемого насоса; $I(n_1)+I(n_2)+II$ — суммарные напорные характеристики обоих насосов при n_1 и n_2 соответственно; III — характеристика трубопровода

На рис. 3.4 приведен график совместной работы сети и двух насосов: регулируемого и нерегулируемого. Как и в предыдущем случае, при изменении водопотребления и увеличении напора в диктующей точке частота вращения регулируемого насоса уменьшается, а при снижении напора возрастает. Но при этом характеристика регулируемого насоса изменяет свое положение, а нерегулируемого остается неизменной. По этой причине, хотя насосы работают с одним и тем же напором, подача у них разная.

При уменьшении частоты вращения регулируемый насос работает с меньшей подачей, а подача нерегулируемого увеличивается. Другие рабочие параметры регулируемого и нерегулируемого насосных агрегатов (КПД, мощности и т. д.) тоже различаются. В случае существенного изменения водопотребления наступает момент, когда подача регулируемого насоса снижается до нуля, а подача нерегулируемого насоса увеличивается до некоторого значения IIQ_3 (см. рис. 3.4, точка 3). В это время напор нерегулируемого насоса становится больше, чем регулируемого. Обратный клапан регулируемого насоса закрывается, а если он отсутствует, вода идет через насос в обратном направлении. Как правило, при оснащении

насосного агрегата регулируемым приводом наличие обратного клапана обязательно. Ввиду бессмысленности такого режима САУ в этот момент времени отключает нерегулируемый насос и форсирует частоту вращения регулируемого насоса до максимального значения. Чтобы исключить возникновение таких режимов, современные частотные преобразователи компании «Данфосс» наделены специальной функцией, предотвращающей такой режим (см. п.6 § 2.3.). При дальнейшем уменьшении водопотребления процесс регулирования осуществляется только изменением частоты вращения регулируемого насоса.

Если регулируемый насос вследствие увеличения водопотребления выйдет на максимально возможную частоту вращения, но, несмотря на это, не сможет обеспечить подачу воды в требуемом количестве, а напор на выходе насосной станции начнет резко снижаться, то САУ должна дать импульс на включение нерегулируемого насоса и убавить частоту вращения регулируемого насоса до нужного значения.

Следует иметь в виду, что процесс изменения водопотребления не всегда идет монотонно. Часто при достижении граничного значения подачи Q_3 процесс может остановиться и пойти в обратную сторону. В таких случаях возникает ситуация, в которой нерегулируемый насос будет многократно включаться и отключаться. Во избежание таких явлений САУ должна содержать блокировочное устройство, позволяющее отключать или включать нерегулируемый насос только при наличии устойчивой тенденции изменения водопотребления. В некоторых случаях, например, если водопотребление длительное время колеблется около граничного значения Q_3 , целесообразно оснащение обоих насосов РЭП, чтобы при этом режиме они оба работали с пониженной частотой вращения.

При установке на насосной станции разнотипных насосов, во избежание образования так называемых *мёртвых зон* (МЗ), регулируемым электроприводом целесообразно оснащать наиболее крупные насосы с наиболее пологой характеристикой.

Мёртвая зона возникает, если РЭП оборудуется насосом, напорная характеристика которого лежит ниже характеристики нерегулируемого насоса. В этих условиях при достижении граничного значения подачи Q_3 нерегулируемый насос отключать нельзя, поскольку регулируемый насос, работая даже с максимальной частотой

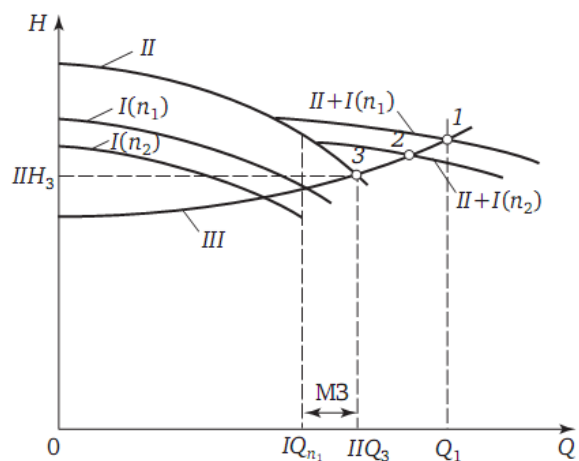


Рис. 3.5. Образование мертвых зон (МЗ) в процессе регулирования насосной установки:

$I(n_1)$ — напорная характеристика регулируемого насоса при частоте вращения n_1 ; $I(n_2)$ — то же при n_2 ; II — напорная характеристика нерегулируемого насоса; III — характеристика трубопровода

той вращения, не обеспечит нужную подачу $IQ_{n1} < IIQ_3$. В то же время на процесс регулирования он уже не может влиять, поскольку развиваемый им напор меньше напора PH_3 , создаваемого нерегулируемым насосом (рис. 3.5).

Если регулируемым электроприводом оборудуется более крупный насос, САУ может дать импульс на отключение нерегулируемого насоса с некоторым упреждением, пока водопотребление еще не снизилось до граничного значения водоподдачи Q_3 .

Импульс на включение нерегулируемого насоса может быть дан также заблаговременно, пока водопотребление не увеличится до граничного значения Q_3 . Благодаря этому предотвращается работа насосного агрегата в зоне низких значений КПД, что повышает экономичность процесса регулирования.