

# ТРАНСПОРТНОЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

532+658.52.011.56

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЦИРКУЛЯЦИИ ЖИДКОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕТРОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ С МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ

*Д-р техн. наук, проф. Ф. Д. БАЙРАМОВ, канд. техн. наук, доц. Н. С. ГАЛИМОВ,  
асп. А. Р. ФАРДЕЕВ*

*Рассмотрена работа автоматизированной системы циркуляции жидкости. Работа системы может происходить за счет электроэнергии, взятой из электросети или за счет механической энергии, которую производит ветродвигатель, включенный в систему. В зависимости от скорости ветра система работает в том или ином режиме. Рассмотрена работа системы в каждом режиме в отдельности и переходы одного режима в другой.*

Схема автоматизированной системы циркуляции жидкости, состоящей из стационарного электрического центробежного насоса 1, пневматического гидроаккумулятора 3, выключателей 4 и 8, гидробака 5, потребителя 6, переключателя 7, гидропереключателя 9, блока управления, переливного клапана 10, обратных клапанов а, б, в и ветронасосной установки с механической передачей вращательного движения ротора ветродвигателя ротору регулируемого пластинчатого насоса 2 показана на рис. 1.

Механическая передача движения осуществляется с помощью вала 3 (см. рис. 2). Для защиты вала от динамических воздействий он соединяется с ротором 5 ветродвигателя 1 и с ротором 6 насоса 2 через муфты с упругими элементами 4. Для защиты вала от атмосферных воздействий и для безопасности вал 3 находится внутри опоры 7.

При малой скорости ветра уменьшается момент  $M$ , приложенный к ротору насоса со стороны ветродвигателя и, следовательно, уменьшается давление насоса  $P_{\text{нас}}$  согласно формуле  $M_n = P_{\text{нас}} V_n / (2\pi\eta_{\text{мн}})$  [1], где  $\eta_{\text{мн}}$  – механический КПД насоса. Давление  $P_{\text{нас}}$  можно сохранить, если уменьшать рабочий объем насоса  $V_n$  в том же соотношении, в каком уменьшился вращающий момент  $M_n$ . Производится это при помощи блока управления рабочим объемом насоса 2. Уст-

ройство блока управления показано на рис. 3. Он состоит из регулятора 1, рычага 2, золотникового гидрораспределителя 4, содержащего шток 3 и плунжер 5, гидроцилиндра одностороннего действия 6, содержащего плунжер 9, насоса 10, содержащего пружину 7 и подвижный корпус 8, рычага 11, тяги 12, удлинителя 13, вентиля 14. Насос 10 на этом рисунке соответствует насосу 2 на рис. 1.

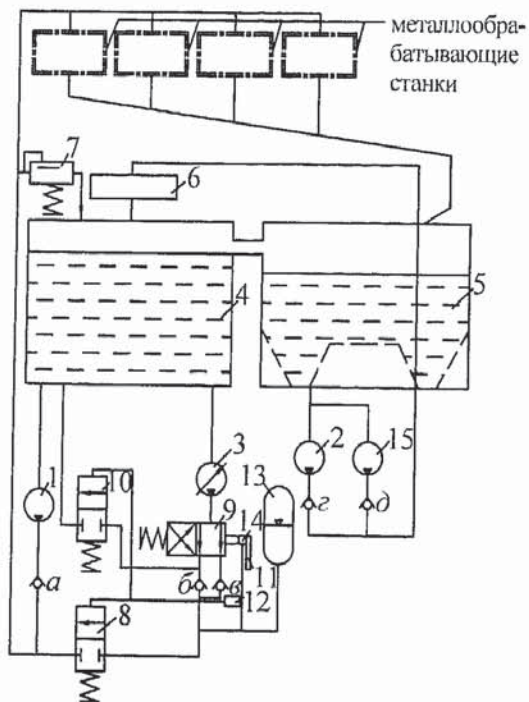


Рис. 1.

Схема автоматизированной системы циркуляции жидкости с применением ветронасосной установки с механической передачей.

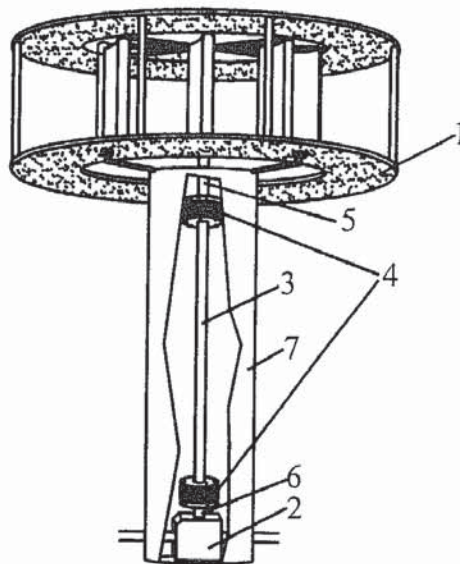


Рис. 2.

Ветронасосная установка с механической передачей.

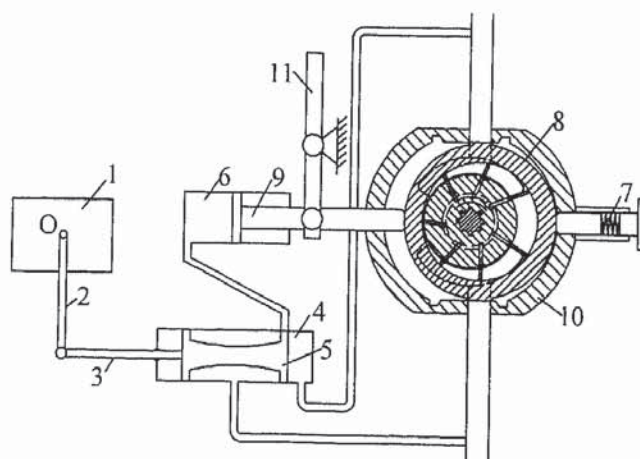


Рис. 3.

Блок управления рабочим объемом насоса.

Уменьшение рабочего объема насоса осуществляется путем уменьшения его эксцентриситета. При уменьшении скорости ветра рычаг 2 регулятора 1 поворачивается по ходу часовой стрелки относительно точки  $O$ , т.е. нижний его конец перемещается влево. При этом шток 3

золотникового распределителя 4 перемещает плунжер 5 влево. В результате жидкость из полости гидроцилиндра одностороннего действия 6 уходит в гидролинию низкого давления. Под действием пружины 7 подвижный корпус 8 насоса 10 перемещается влево, уменьшая эксцентриситет  $a$ , следовательно, и рабочий объем насоса (при этом верхний конец рычага 11 перемещается вправо). Уменьшение рабочего объема будет происходить до тех пор, пока рычаг 2 не вернется в нейтральное положение (рычаг 2 находится в нейтральном положении тогда, когда выполняется заданное соотношение между угловыми скоростями ротора ветродвигателя и анемометра – свободно вращающегося ветроприемного устройства). При возвращении рычага 2 в нейтральное положение плунжер 5 перекроет отток жидкости из полости гидроцилиндра 6. Изменение объема насоса прекратится.

Если скорость ветра увеличивается, то рычаг 2 поворачивается против хода часовой стрелки, т.е. его нижний конец перемещается вправо. Шток 3 перемещает плунжер 5 вправо. В полость гидроцилиндра 6 устремляется жидкость из гидролинии высокого давления. Под действием силы давления жидкости плунжер 9 гидроцилиндра 6 перемещает подвижный корпус 8 насоса 10 вправо, сжимая пружину 7 (при этом верхний конец рычага 11 перемещается влево). При этом происходит увеличение рабочего объема насоса. Увеличение рабочего объема происходит до тех пор, пока рычаг 2 не вернется в нейтральное положение.

Мы рассмотрели работу блока управления рабочим объемом насоса. Работа регулятора 1 в этом блоке осталась нерассмотренной. Рассмотрим его работу. Схема этого регулятора показана на рис. 4.

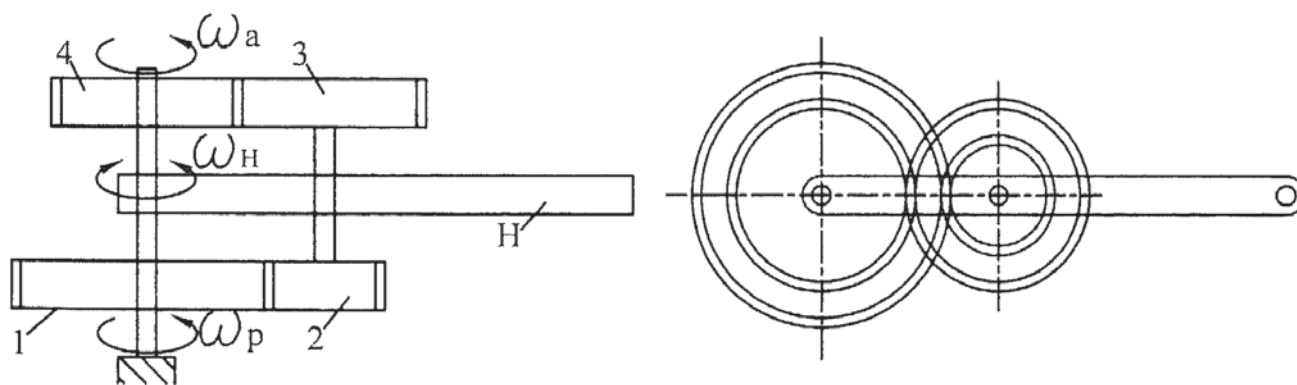


Рис. 4.

Регулятор блока управления.

Регулятор состоит из зубчатого колеса 1 ротора ветродвигателя, зубчатого колеса 4 анемометра, сателлита с двумя зубчатыми колесами 2 и 3 и водила  $H$ . Радиусы колес 3 и 4 одинаковы и равны  $r_a$ , радиусы колес 1 и 2 равны  $r_1$  и  $r_2$  соответственно и определяются по формулам  $r_1 = (3/2)r_a$ ,  $r_2 = r_a/2$ . Такое соотношение радиусов колес при оптимальном соотношении угловых скоростей  $\omega_a/\omega_p = 3$  (1) [2] обеспечивает равенство нулю угловой скорости водила  $H$  и оно находится в нейтральном положении. Здесь  $\omega_a$  – угловая скорость анемометра,  $\omega_p$  – угловая скорость



ротора ветродвигателя. При нарушении равенства (1) водило поворачивается в ту или другую сторону в зависимости от того, уменьшилось или увеличилось соотношение угловых скоростей анемометра и ротора ветродвигателя. При разработке регулятора были использованы работы [3, 4].

Водило Н на рис. 4 соответствует рычагу 2 на рис. 3. Регулятор 1 и золотниковый распределитель 4, изображенные на рис. 3 находятся наверху в корпусе ветродвигателя между ротором и анемометром. Связь золотникового распределителя 4 с гидроцилиндром 6 и насосом 10 осуществляется с помощью гидролиний, проложенных внутри опоры ветродвигателя.

После того, как была рассмотрена работа изображенного на рис. 3 блока управления рабочим объемом насоса 2, изображенного на рис. 1, приводимого в движение ветродвигателем, рассмотрим работу автоматизированной системы циркуляции жидкости, изображенной на рис. 1 в целом.

Возможны 4 режима работы системы:

1. режим обеспечения циркуляции жидкости в системе ветронасосной установкой;
2. режим зарядки гидроаккумулятора;
3. режим разрядки гидроаккумулятора;
4. режим ожидания увеличения скорости ветра.

При работе системы в первом режиме циркуляцию жидкости обеспечивает ветронасосная установка. Работа системы в этом режиме происходит в следующем порядке. Жидкость из бака 5 поступает в насос 2. От насоса 2 она движется через гидрораспределитель 9, обратный клапан *в* и выключатель 8 в трубопровод. Насос 1 при этом отключен. Этот режим реализуется при скорости ветра, достаточной для работы ветронасосной установки в режиме максимальной мощности. Обеспечивают работу системы в этом режиме блок управления, переключатель 7, выключатель 8 и гидрораспределитель 9. Блок управления увеличивая или уменьшая рабочий объем насоса 2 передвигает плунжер гидрораспределителя 9. Переключатель 7 включает или отключает электронасос 1. Гидрораспределитель 9 направляет жидкость из насоса через обратные клапаны *б* или *в*. Выключатели 4 и 8 пропускают или не пропускают через себя жидкость. Переключатель 7 и выключатель 8 (также как и выключатель 4, который не принимает участия в работе системы в этом режиме) управляются давлением жидкости в гидроаккумуляторе. Наибольшее значение давления в гидроаккумуляторе обозначим  $P_v$ , а наименьшее –  $P_n$ . При работе системы в данном режиме давление в гидроаккумуляторе находится на уровне  $P_v$  или между  $P_v$  и  $P_n$  (остановлено при изменении давления от  $P_v$  к  $P_n$ ). При этом давлении переключатель 7 выключен, и, следовательно, электронасос 1 отключен, выключатель 8 включен и пропускает через себя жидкость. Блок управления и гидрораспределитель 9 управляются скоростью ветра. При достаточно высокой скорости ветра блок управления поддерживает максимальный рабочий объем насоса 2 и удерживает плунжер гидрораспределителя 9 в положении, обеспечивающем движение жидкости через обратный клапан *в*. В этом положении верхняя часть рычага 11, а сле-



довательно, и плунжер гидрораспределителя 9 сдвинуты влево. Назовем это положение положением *в*. Выключатель 4 также включается при высоком давлении  $P_{в}$  и способен пропускать через себя жидкость, но в этом режиме жидкость через него не течет, т. к. направлена гидрораспределителем 9 в обход этого выключателя, а обратный клапан *б* не дает жидкости вернуться к выключателю 4.

При работе системы в режиме зарядки гидроаккумулятора циркуляцию жидкости обеспечивает электронасос 1. Жидкость из бака поступает в насос 1. Из насоса 1 через обратный клапан *а* она подается в трубопровод. В отличие от предыдущего режима в данном режиме работают оба насоса: насос 1 обеспечивает работу системы, а насос 2 заряжает гидроаккумулятор 3. При этом жидкость из бака 5 поступает в насос 2. От насоса 2 она движется через гидрораспределитель 9 и обратный клапан *б* (или *в*) в гидроаккумулятор 3. Происходит зарядка гидроаккумулятора. Этот режим реализуется при скорости ветра, недостаточной для работы ветронасосной установки в режиме максимальной мощности, но достаточной для работы установки в режиме минимальной мощности. Обеспечивают работу системы в этом режиме блок управления, гидрораспределитель 9, переключатель 7 и выключатели 4 и 8. При данной скорости ветра блок управления поддерживает рабочий объем насоса 2 на уровне ниже максимального и выше нулевого и удерживает плунжер гидрораспределителя 9 в положении, обеспечивающем движение жидкости через обратный клапан *б*. В этом положении верхняя часть рычага 11, а следовательно, и плунжер гидрораспределителя 9 сдвинуты вправо. Назовем это положение положением *б*. Давление в гидроаккумуляторе изменяется от значения  $P_{н}$  к значению  $P_{в}$ . При таком изменении давления переключатель 7 включен, выключатели 4 и 8 выключены и не пропускают через себя жидкость.

При работе системы в режиме разрядки гидроаккумулятора циркуляцию жидкости в системе обеспечивает гидроаккумулятор. Жидкость из гидроаккумулятора через выключатель 8 поступает в трубопровод. Обратный клапан *б* не даёт двигаться жидкости через клапан 4 в бак. Жидкость из бака 5 поступает в насос 2, от насоса 2 жидкость через распределитель 9 и выключатель 4 двигается в бак, насос 1 отключен. Этот режим реализуется при скорости ветра, недостаточной для работы ветронасосной установки в режиме максимальной мощности. Обеспечивают работу системы в этом режиме блок управления, гидрораспределитель 9, переключатель 7 и выключатели 4 и 8. При данной скорости ветра блок управления поддерживает рабочий объем насоса 2 на уровне ниже максимального и удерживает плунжер гидрораспределителя 9 в положении, обеспечивающем движение жидкости к обратному клапану *б*. Давление в гидроаккумуляторе изменяется от значения  $P_{в}$  к значению  $P_{н}$ . При таком изменении давления переключатель 7 выключен, выключатели 4 и 8 включены и пропускают через себя жидкость.

При работе системы в режимах зарядки гидроаккумулятора и его разрядки давление в нем поддерживается между значениями  $P_{н}$  и  $P_{в}$ . Но в первом случае переключатель 7 включен, а во втором выключен. Переключатель 7 устроен таким образом, что включается при достижении



давления  $P_n$ , а выключается при достижении давления  $P_v$ . При изменении давления от  $P_n$  к  $P_v$  давление  $P_n$  было уже достигнуто и переключатель включился и остаётся включенным до достижения давления  $P_v$ . При изменении давления от  $P_v$  к  $P_n$  давление  $P_v$  было уже достигнуто и переключатель выключился и остаётся выключенным до достижения давления  $P_n$ . Так же устроены выключатели 4 и 8. В отличие от переключателя 7 они включаются при достижении давления  $P_v$ , а выключаются при достижении давления  $P_n$ .

При работе системы в режиме ожидания увеличения скорости ветра циркуляцию жидкости обеспечивает электронасос 1. Жидкость из бака поступает в насос 1, из насоса 1 через обратный клапан *a* она подаётся в трубопровод, насос 2 остановлен или работает в режиме холостого хода. Этот режим реализуется при скорости ветра, недостаточной для работы ветронасосной установки в режиме минимальной мощности. Обеспечивают работу системы в этом режиме блок управления, гидрораспределитель 9, переключатель 7 и выключатели 4 и 8. При данной скорости ветра блок управления поддерживает рабочий объём насоса 2 на нулевом уровне. Плунжер гидрораспределителя 9 находится в таком положении, что если бы жидкость двигалась от насоса 2, то двигалась бы к обратному клапану *b*, т.е. в положении *b*. Давление в гидроаккумуляторе находится на уровне  $P_n$ , или между  $P_n$  и  $P_v$  (остановлено при изменении давления от  $P_n$  к  $P_v$ ). При таком давлении переключатель 7 включен, а выключатели 4 и 8 выключены и не пропускают через себя жидкость.

Блок управления, выключатель 4 и гидрораспределитель 9 непосредственного участия в обеспечении работы системы в данном режиме не принимают. Но они находятся в таком положении, что система готова перейти к режиму зарядки аккумулятора при повышении скорости ветра до уровня, необходимого для работы ветронасосной установки в режиме минимальной мощности или выше этого уровня.

При разработке автоматизированной системы циркуляции жидкости были использованы работы [5, 6].

Была рассмотрена работа системы в каждом режиме в отдельности, но при работе системы один режим переходит в другой. Рассмотрим, как это происходит. Режимы работы системы не могут сменять друг друга произвольно. Например, режим обеспечения циркуляции в системе ветронасосной установкой не может смениться режимом зарядки гидроаккумулятора, потому что в первом режиме он находится в заряженном состоянии, смена режимов происходит согласно изменению скорости ветра. Пусть скорость ветра изменяется по какому-то циклу и цикл начинается со скорости ветра, превышающей скорость, необходимую для работы ветронасосной установки в режиме максимальной мощности. Обозначим эту скорость  $V_1$ . Скорость  $V_1$  — это переменная величина, у которой есть нижний предел. Затем скорость ветра уменьшится до значения  $V_2$ , которое меньше скорости, необходимой для работы установки в режиме максимальной мощности, но больше скорости, необходимой для работы ветронасосной установки в режиме минимальной мощности. Скорость  $V_2$  — это переменная величина, у которой есть ниж-

ний и верхний пределы. После этого скорость уменьшится до значения  $V_3$ , которое меньше скорости, необходимой для работы ветронасосной установки в режиме минимальной мощности. Скорость  $V_3$  – переменная величина, которая аналогично  $V_2$  имеет верхний и нижний пределы. В дальнейшем скорость ветра начнёт изменяться в обратном направлении и цикл завершится. Схематически это можно изобразить следующим образом:  $V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1$ . Некоторые значения скоростей могут выпадать из этой цепочки. При внезапной смене скорости от  $V_1$  до  $V_3$  выпадает скорость  $V_2$  в левой ветви и цепочка будет иметь вид:  $V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1$ . При внезапной смене скорости от  $V_3$  до  $V_1$  выпадает скорость  $V_2$  в правой ветви и цепочка будет иметь вид:  $V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3 \rightarrow V_1$ . Если скорость ветра изменяется, не достигая значения  $V_3$ , то цепочка будет иметь вид:  $V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1$ . Если скорость ветра изменяется, не достигая значения  $V_1$ , то цепочка будет иметь вид:  $V_2 \rightarrow V_3 \rightarrow V_2$ . В этих цепочках встречаются следующие переходы:  $V_1 \rightarrow V_2$ ,  $V_2 \rightarrow V_3$ ,  $V_3 \rightarrow V_2$ ,  $V_2 \rightarrow V_1$ ,  $V_1 \rightarrow V_3$ ,  $V_3 \rightarrow V_1$ .

При анализе смены режимов необходимо иметь в виду, что при скорости  $V_1$  реализуется первый или второй режим. При скорости  $V_2$  режимы 2 и 3 сменяют друг друга. При скорости  $V_3$  реализуется четвёртый или третий режим. Рассмотрим переход  $V_1 \rightarrow V_2$ . Скорость ветра имела значение  $V_1$ . Система работала в первом режиме. При этом режиме поддерживается максимальный рабочий объём насоса 2, плунжер гидрораспределителя 9 находится в положении *a* (сдвинут влево). Переключатель 7 выключен, выключатель 8 включен и пропускает через себя жидкость, выключатель 4 включен и способен пропускать через себя жидкость. Скорость ветра упала до значения  $V_2$ . Блок управления при этом уменьшил рабочий объём насоса 2 и перевёл плунжер гидрораспределителя в положение *b*. Вспомним, что выключатель 4 включен и способен пропускать через себя жидкость. Поэтому жидкость от насоса 2 не будет двигаться через клапан *b* в зону высокого давления  $P_v$ , а потечёт через выключатель 4 обратно в бак. Жидкость из гидроаккумулятора 3 начнёт двигаться через выключатель 8 в трубопровод. При данном переходе переключатель 7 остался выключенным. Выключатели 4 и 8 остались включенными. Пришли к режиму разрядки гидроаккумулятора.

При движении жидкости из гидроаккумулятора 3 в трубопровод давление в гидроаккумуляторе понижается от значения  $P_v$  до значения  $P_n$ . После достижения давлением значения  $P_n$  переключатель 7 включается, а выключатели 4 и 8 выключаются. Движение жидкости в системе обеспечивает насос 1. Жидкость от насоса 2 через обратный клапан *b* поступает в гидроаккумулятор. Начинается режим зарядки аккумулятора. Данный переход от одного режима к другому не вызван изменением скорости ветра. Поэтому рабочий объём насоса 2 остался на уровне меньше максимального и больше минимального, а плунжер гидрораспределителя 9 в положении *b*. Пришли к режиму зарядки аккумулятора. При зарядке гидроаккумулятора давление в нём увеличивается от  $P_n$  до  $P_v$ . После достижения давлением значения  $P_v$  переключатель 7 выключится, выключатели 4 и 8 включатся и начнётся процесс разрядки гидроаккумулятора.



При скорости ветра равной  $V_2$  режимы зарядки и разрядки гидроаккумулятора будут сменять друг друга ( $V_2$  – это переменная величина, она находится в пределах, указанных выше).

Рассмотрим переход  $V_2 \rightarrow V_3$ . Данный переход может произойти из двух режимов, т. к. при скорости  $V_2$  возможны два режима: режим зарядки и режим разрядки гидроаккумулятора. Пусть скорость ветра изменяется от значения  $V_2$  к значению  $V_3$  при работе системы в режиме разрядки гидроаккумулятора. При этом ветродвигатель остановится, блок управления уменьшит объем насоса 2 до нулевого, а положение плунжера гидрораспределителя 9 останется в прежнем положении б. В режиме разрядки насос 2 перекачивает жидкость из бака в бак. Поэтому от остановки ветродвигателя, а, следовательно, и насоса 2 ничего не изменится. Процесс разрядки гидроаккумулятора будет продолжаться. После разрядки гидроаккумулятора переключатель 7 включится и подключит электронасос 1. Выключатели 4 и 8 выключатся. Система перейдет в режим ожидания повышения скорости ветра с разряженным гидроаккумулятором.

Пусть скорость ветра изменяется от значения  $V_2$  к значению  $V_3$  при работе системы в режиме зарядки гидроаккумулятора. При этом ветродвигатель остановится, блок управления уменьшит объем насоса 2 до нулевого, а положение плунжера гидрораспределителя 9 останется в прежнем положении б. Процесс зарядки прекратится из-за остановки ветродвигателя или его работы в режиме холостого хода (в режиме холостого хода ротор насоса 2 вращается, но не перекачивает жидкость из-за нулевого рабочего объема). Переключатель 7 останется включенным, а выключатели 4 и 8 выключенными. Система перейдет в режим ожидания повышения скорости ветра с частично заряженным гидроаккумулятором. Независимо от того, разряжен или частично заряжен гидроаккумулятор в режиме ожидания плунжер находится в положении б, переключатель 7 включен, выключатели 4 и 8 выключены.

Рассмотрим переход  $V_3 \rightarrow V_2$ . При повышении скорости ветра от значения  $V_3$  до значения  $V_2$  блок управления увеличит рабочий объем насоса 2 до уровня ниже максимального. Плунжер гидрораспределителя 9 останется в положении б. В положении ожидания переключатель 7 был включен, а выключатели 4 и 8 выключены. Насос 2 начнет нагнетать жидкость в гидроаккумулятор. Если в режиме ожидания гидроаккумулятор был разряжен, то он начнет заряжаться, если же гидроаккумулятор был частично заряжен, то начнется его дальнейшая зарядка. То есть в любом случае работа системы перейдет к режиму зарядки гидроаккумулятора. Если скорость ветра не перейдет к значениям  $V_1$  или  $V_3$ , то режим зарядки сменится режимом разрядки и в дальнейшем эти режимы будут сменять друг друга. Такая смена режимов была рассмотрена ранее.

Рассмотрим переход  $V_2 \rightarrow V_1$ . При повышении скорости от значения  $V_2$  до значения  $V_1$  блок управления увеличит объем насоса 2 и приложит усилие к толкателю 12 для передвижения плунжера гидрораспределителя 9 в положение в. При скорости ветра  $V_2$  система находится либо в режиме зарядки, либо в режиме разрядки гидроаккумулятора. Пусть система находится в режиме разрядки гидроаккумулятора. При этом режиме переключатель 7 выключен, а выключа-



тели 4 и 8 включены. Промежуточный толкатель 12 устроен таким образом, что плунжер гидрораспределителя 9 может быть установлен в положение *в* (сдвинут влево) только при давлении  $P_{в}$  в гидроаккумуляторе. Так как система работает в режиме разрядки гидроаккумулятора, то давление в гидроаккумуляторе ниже  $P_{в}$  и плунжер гидрораспределителя 9 находится в положении *б*. То есть система продолжает работать в режиме разрядки гидроаккумулятора. Когда давление в гидроаккумуляторе станет равным  $P_{н}$ , переключатель 7 включит электронасос 1, выключатели 4 и 8 выключатся. Начнётся режим зарядки гидроаккумулятора при максимальном рабочем объёме насоса 2. После зарядки гидроаккумулятора давление в нём достигнет значения  $P_{в}$ . При этом толкатель 12 переместит плунжер гидрораспределителя в положение *в*, переключатель 7 отключит электродвигатель, выключатели 4 и 8 включатся, система начнёт работать в режиме обеспечения циркуляции жидкости ветронасосной установкой. Оказалось, что переход  $V_2 \rightarrow V_1$  при работе системы в режиме разрядки гидроаккумулятора свёлся к переходу  $V_2 \rightarrow V_1$  при работе системы в режиме зарядки гидроаккумулятора. То есть при переходе  $V_2 \rightarrow V_1$ , независимо от режима работы системы, при скорости ветра  $V_2$  система вначале приходит к состоянию, в котором гидроаккумулятор заряжен и только после этого начинает работу в режиме обеспечения циркуляции жидкости ветронасосной установкой.

Рассмотрим переход  $V_1 \rightarrow V_3$ . При таком переходе скорость от значения  $V_1$  резко снижается до значения  $V_3$ . Пытаясь уменьшить момент сопротивления насоса 2, блок управления снизит рабочий объём насоса до нулевого. Рычаг 11 блока управления переместится вправо. Плунжер гидрораспределителя 9 также переместится вправо в положение *б*. Скорости ветра  $V_3$  недостаточно для работы ветронасосной установки даже в режиме минимальной мощности. Поэтому ветродвигатель остановится или будет работать в режиме холостого хода. Давление жидкости в гидроаккумуляторе в этот момент равно  $P_{в}$ .

При скорости ветра  $V_1$  система работала в режиме обеспечения циркуляции жидкости ветронасосной установкой. При работе системы в этом режиме переключатель 7 выключен, выключатели 4 и 8 включены. Как было отмечено выше, плунжер гидрораспределителя переместился в положение *б*. Начинается режим разрядки гидроаккумулятора. После его разрядки до давления  $P_{н}$  переключатель 7 включится, а выключатели 4 и 8 выключатся. Рабочий объём насоса 2 уменьшен до нулевого. Плунжер гидрораспределителя 9 находится в положении *б*. Началась работа системы в режиме ожидания увеличения скорости ветра с разряженным гидроаккумулятором.

Рассмотрим переход  $V_3 \rightarrow V_1$ . Этот переход происходит при резком увеличении скорости ветра от значения  $V_3$  до значения  $V_1$ . При скорости ветра равной  $V_3$  система находится в режиме ожидания с разряженным или частично заряженным гидроаккумулятором. Переключатель 7 включен, выключатели 4 и 8 выключены. Плунжер гидрораспределителя находится в положении *б*. Рабочий объём насоса 2 нулевой. При увеличении скорости ветра до значения  $V_1$ , ротор ветродвигателя начинает вращаться, рабочий объём насоса увеличивается до максимального.

Рычаг 11 блока управления переместится влево. Но толкатель 12 не переместит плунжер гидрораспределителя 9 влево, т.к. давление в гидроаккумуляторе ниже значения  $P_B$ . Плунжер гидрораспределителя останется в положении б. Начнётся или продолжится прерванный режимом ожидания режим зарядки гидроаккумулятора через обратный клапан б. После зарядки гидроаккумулятора до давления  $P_B$  толкатель 12 переместит плунжер гидрораспределителя 9 в положение в, переключатель 7 отключит насос 1, выключатели 4 и 8 включатся. Переключатель 8 начнёт пропускать через себя жидкость. Переключатель 4 будет способен пропускать через себя жидкость, но жидкость через него не пойдёт из-за того, что плунжер гидрораспределителя 9 находится в положении в. Начнётся режим обеспечения циркуляции жидкости в системе ветро-насосной установкой.

Были рассмотрены все возможные переходы одного режима работы системы в другой при изменении скорости ветра от одного значения к другому. Эти переходы возможны благодаря гидроавтоматике в виде блока управления изображённого на рис. 3, переключателя 7, выключателей 4 и 8 гидрораспределителя 9, толкателя 12, изображенных на рис. 1.

При полном или частичном закрытии вентилей трубопровода по которым подается жидкость к металлообрабатывающим станкам изменяется характеристика трубопровода (см. рис. 5). Измененная характеристика трубопровода изображена на рисунке пунктирной линией. Рабочая точка займет положение  $A'$ . При этом повысится давление в трубопроводе. Чтобы избежать этого, необходима регулировка подачи насоса 2.

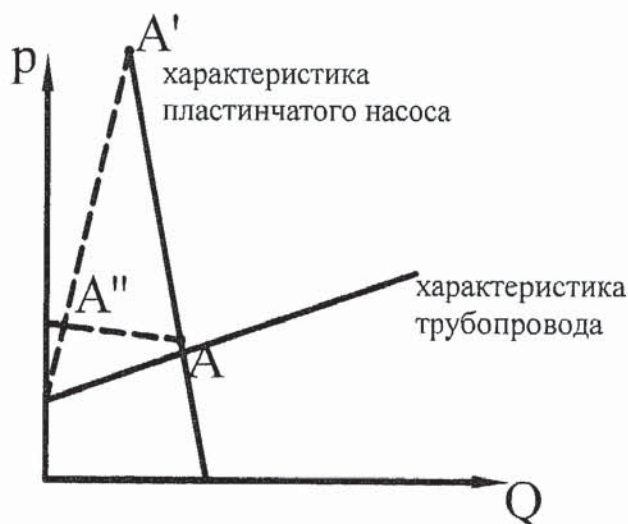


Рис. 5.

Характеристики насоса и трубопровода.

Регулировка подачи роторных насосов, к которым относится пластинчатый насос 2 производится двумя способами: установкой переливного клапана и изменением рабочего объема насоса. И в том и в другом случае при повышении давления выше определенного уровня снижается подача. Регулировку рабочего объема использовать нельзя, так как она задействована на



регулирование момента сопротивления насоса в зависимости от скорости ветра. Поэтому для предохранения трубопровода от высокого давления при характеристике трубопровода необходимо применить переливной клапан 10. При этом изменится характеристика насоса 2 (измененная характеристика изображена на рисунке пунктирной линией). Рабочая точка займет положение  $A''$ . Давление в трубопроводе понизится по сравнению с давлением при нахождении рабочей точки в положении  $A'$ .

Конструкция центробежных насосов такова, что давление не может увеличиться выше определенного (не очень высокого) уровня (см. рис. 5). В какой бы точке характеристики насоса не находилась рабочая точка, давление в трубопроводе не может быть выше  $P_0$ . Поэтому нет необходимости установки клапана на центробежный насос 1 с целью сохранения трубопровода от высокого давления. В случае обеспечения циркуляции жидкости насосом 1 клапан 10 служит для обеспечения стабильного давления в трубопроводе.

После того как разобрана работа системы, выясним, для чего необходимо регулирование рабочего объема насоса или его уменьшение при уменьшении скорости ветра. Уменьшение скорости ветра вызовет уменьшение вращающего момента  $M_n$ , приложенного к ротору насоса. Из формулы

$$M_n = P_{\text{нас}} V_n / 2\pi\eta_{\text{мн}}$$

(где  $\eta_{\text{мн}}$  – механический КПД насоса) видно, что если не уменьшать рабочий объем насоса  $V_n$ , то произойдет уменьшение давления  $P_{\text{нас}}$  ниже значения  $P_n$  и будет невозможна зарядка гидроаккумулятора.

При запуске системы еще нет давления в гидроаккумуляторе. Поэтому невозможна автоматическая регулировка рабочего объема насоса. Без давления в гидроаккумуляторе, а, следовательно, и в полости гидроцилиндра 6 (см. рис. 2.3) пружина 7 установит нулевой рабочий объем насоса 10. Тяга 12 плунжера 9 имеет возможность удлинения при помощи удлинителя 13. При удлинении этой тяги происходит ручное увеличение рабочего объема насоса. Подобным образом увеличивают рабочий объем насоса при запуске. При увеличении скорости ветра насос накачивает жидкость в гидроаккумулятор до давления  $P_v$  и при дальнейшей работе системы давление в гидроаккумуляторе не опустится ниже значения  $P_n$ . Этого достаточно для автоматического регулирования рабочего объема насоса. Поэтому тяга 12 плунжера 9 возвращается ее прежняя длина.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башта Т. М., Руднев С. С. и др. Гидравлика, гидромашины и гидротурбины. – М.: Машиностроение, 1982. – 424 с.

2. Байрамов Ф. Д., Галимов Н. С. Определение максимальной мощности ветроустановки. // Проектирование и исследование технических систем: Межвузовский научный сборник. – Наб. Челны: КамПИ. 2002. – С. 115-117.
3. Решетов А. Н. Самоустанавливающиеся механизмы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1991. – 284 с.
4. Терган В. С., Андреев И. Б., Либерман Б. С. Основы автоматизации производства. – М.: Машиностроение. 1982. – 270 с.
5. Воронов А. А. Теория автоматического управления. – М.: Высшая школа, 1986. – 386 с.
6. Попкович Г. С., Гордеев М. А. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения. – : Высшая школа. 1986. – 392 с.

629.3.017

## ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОМОБИЛЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ С ПОТЕРЕЙ ПОПЕРЕЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

*Канд. техн. наук. В. И. РЯЗАНЦЕВ, асп. НГУЕН ЧИ КОНГ*

*Рассмотрены вопросы адаптации характеристики связи колеса с дорогой к задачам движения автомобиля на режимах, характеризующихся потерей поперечной устойчивости, соответствия этих характеристик известным ранее, приведены некоторые результаты расчетов с использованием адаптированных характеристик.*

При решении задач, в которых нарушается поперечная устойчивость автомобиля, необходимо использовать характеристики связи колеса с дорогой, как минимум в поперечном направлении. Характеристика этой связи должна быть еще более сложной при решении таких задач с учетом действия продольной силы в пятне контакта, то есть в тяговом или тормозном режиме. Рассмотрим характеристики связи колеса с дорогой.

Вообще боковая сила является функцией скорости, нагрузки и жесткости шины, а также характеристики дороги [1]..., т.е.  $F_y = f(v_y, F_z, c_b, \varphi \dots)$ . При торможении или разгоне в пятне контакта шины с дорогой возникает продольная сила  $F_x$ . Будем считать, что этой силой может управлять водитель, задавая ту или иную угловую скорость  $\omega_k$  вращения колес автомобиля. Горизонтальная сила  $F_\Sigma$  как сумма этих сил определяется по формулами: