

УДК 621.675.052.003.13

ТУРБИННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ**А. Л. Перекрест, О. А. Карпенко**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: wey77@mail.ru

Обосновано, что для повышения эффективности работы насосных станций необходимо совершенствование существующих и изучение новых методов и средств регулирования их технологических параметров. Проведенный анализ показал, что перспективным способом регулирования параметров насосных станций является использование турбинного режима одного из параллельно работающих насосов станции, который позволяет изменять производительность в требуемых пределах с одновременной рекуперацией электроэнергии. Рассмотрена работа насосной станции городского водоснабжения при отработке типового графика водоснабжения путем использования турбинного режима одного из параллельно работающих насосов. Для осуществления турбинного регулирования производительности разработаны алгоритмы расчета режимов и работы насосной станции, которые учитывают условия перехода регулируемого насоса из режима в режим и особенности параллельной работы агрегатов. Полученные расчетные данные показывают, что при турбинном регулировании производительности можно добиться снижения потребляемой электроэнергии на 19 % в сутки по сравнению с частотным.

Ключевые слова: насосная станция, турбинный режим, турбинное регулирование, энергоэффективность.

ТУРБІННЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ**А. Л. Перекрест, О. О. Карпенко**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: wey77@mail.ru

Обґрунтовано, що для підвищення ефективності роботи насосних станцій необхідно вдосконалення існуючих та вивчення нових методів і засобів регулювання їх технологічних параметрів. Проведений аналіз показав, що перспективним способом регулювання параметрів насосних станцій є використання турбінного режиму одного з паралельно працюючих насосів станції, який дозволяє змінювати продуктивність у необхідних межах з одночасною рекуперацією електроенергії. Розглянуто роботу насосної станції міського водопостачання при відпрацюванні типового графіка водопостачання шляхом використання турбінного режиму одного з паралельно працюючих насосів. Для здійснення турбінного регулювання продуктивності розроблено алгоритми розрахунку режимів і роботи насосної станції, які враховують умови переходу регульованого насосу з режиму в режим і особливості паралельної роботи агрегатів. Отримані розрахункові дані показують, що при турбінному регулюванні продуктивності можна домогтися зниження споживаної електроенергії на 19 % на добу порівняно з частотним.

Ключові слова: насосна станція, турбінний режим, турбінне регулювання, енергоефективність.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Насосные комплексы (НК) систем коммунального водоснабжения представляют собой сложный комплекс электрического технологического оборудования, режим работы которых необходимо менять из-за переменного во времени водопотребления. Для обеспечения заданного режима работы НК при изменении условий работы потребителей необходимо производить регулирование режимов работы насосных станций (НС) – основных элементов НК. При этом возникающие в НС переходные процессы можно разделить на две группы: вызванные изменением приведенной характеристики сети (изменение числа или нагрузки одновременно работающих потребителей гидравлической энергии, положения регулирующих и защитных устройств сети) или характеристики агрегата (включение, отключение и регулирование насоса).

В первом случае различие между статическими и динамическими характеристиками насосного агрегата обусловлено в основном динамикой подачи. Наблюдающиеся при этом в ряде случаев незначительные колебания скорости вращения ротора мо-

гут и не оказывают существенного влияния на динамические свойства агрегата. Во втором случае скорость вращения ротора изменяется в широких пределах и ее влияние на динамические характеристики агрегата может оказаться решающим [1, 2].

Для регулирования параметров НС возможно использовать как энергоэффективные, проверенные практикой реального внедрения способы, так и новые подходы, позволяющие улучшить энергетическую составляющую эффективности работы оборудования.

Так, широкое внедрение получили системы регулирования параметров НС на базе преобразователей частоты [3]. На фоне доказанных преимуществ – отсутствие ударных токов и перегрева обмоток, уменьшение габаритов электродвигателей вследствие исключения дополнительных обмоток для меньшей частоты вращения, снижения динамических нагрузок и исключения гидроударов и т.п. – подобные системы недоиспользованы по своим регулировочным способностям – в схемах с группо-

вым включением насосов необходимый диапазон уменьшения частоты вращения регулировочного насоса составляет всего 10–15 % для обеспечения требуемого расхода у потребителя [4].

Использование потенциальных энергетических возможностей гидротранспортных комплексов нашло свое воплощение в системах активного регулирования параметров (САРП) насосных станций [5].

САРП могут осуществлять регулирование режимов работы насосных комплексов тремя вариантами: первый – реализуется за счет включения гидротурбинного агрегата в коммуникационную магистраль насосного комплекса; второй – осуществляет управление насосами насосной установки за счет применения четырехквadrантного преобразователя частоты; третий – реализуется путем одновременного использования первого и второго варианта. Первый из вариантов построения и использования САРП подробно рассмотрен в [5]. Второй и третий варианты требуют дополнительных исследований.

Целью настоящей работы является анализ работы типовой насосной станции городского водоснабжения при работе одного из насосов в турбинном режиме.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

В качестве объекта исследования используется насосная станция с двумя параллельно включенными на сеть потребителя агрегатами (рис. 1).

Технологическая цепь станции содержит два параллельно включенных насоса НА1 и НА2, двигатели ДВ1 и ДВ2, которые подключаются к сети переменного тока с помощью выключателей В1 и В2. НС оборудована задвижками с исполнительными механизмами: задвижки 31 и 32 устанавливаются перед НА1 и НА2, задвижки 33 и 34 устанавливаются после насосов, задвижка 35 устанавливается на выходе НС.

Потоки воды, поступающие по трубопроводам из насосов, объединяются в один коллектор К. Для получения информации о расходе насосов установлены датчики расхода: ДР1 и ДР2 и давления: ДД1 и ДД2, соответственно, после НА1 и НА2, ДР3, ДД3 на выходе НС. Управление режимами работы НС осуществляется программно-управляющим устройством (ПУУ).

В данной схеме при определенных условиях возможен обратный ток воды через рабочее колесо регулируемого по скорости насосного агрегата. Управление этим процессом позволяет использовать энергию обратного потока воды для снижения производимого НС количества воды в периоды минимума водопотребления с одновременной рекуперацией электроэнергии.

Для осуществления работы НА в различных режимах используется четырехквadrантный преобразователь частоты.

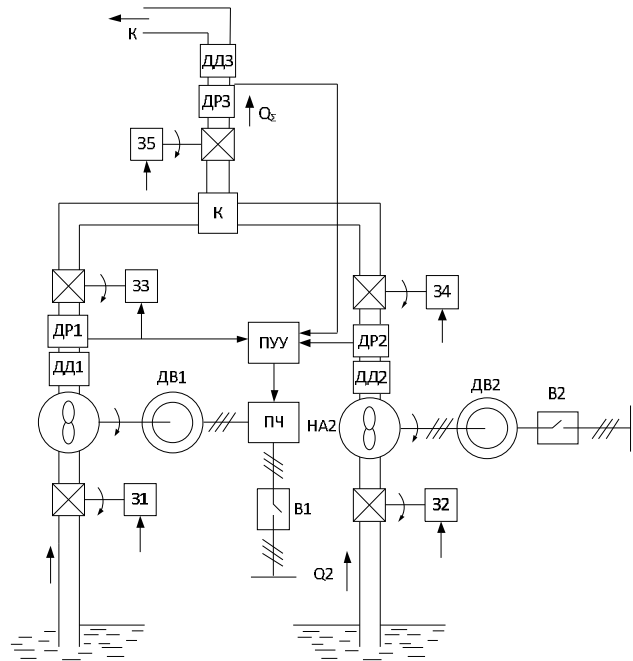


Рисунок 1 – Блок-схема насосной станции с турбинным регулированием ее параметров

Таким образом, под турбинным регулированием производительности НС будем понимать способ обеспечения необходимых технологических параметров НС путем работы одного из параллельно включенных насосных агрегатов в различных режимах при изменении расхода у потребителя.

Для обоснования диапазонов использования турбинного режима одного из параллельно работающих насосов при отработке необходимого закона изменения расхода насосной станции необходимо рассмотреть совместные напорно-расходные и энергетические характеристики насосов. При этом использование турбинного режима одного из параллельно работающих насосов приводит к увеличению типовых режимов работы насосного оборудования станции: насосный, переходный (противоток) и турбинный.

Насосный режим – это стандартный режим работы группы параллельно включенных насосов при частотном регулировании расхода одного из них. Переходный режим работы регулируемого насоса возникает, когда его напор становится меньше напора в сети потребителя при уменьшении его частоты вращения. Турбинный режим характеризуется использованием энергии обратного потока с рекуперацией электроэнергии. При этом установлено, что для центробежных насосов в турбинном режиме существует некоторый начальный диапазон обратных расходов, при которых КПД и мощность рекуперации равны нулю [6]. Таким образом, переходный режим работы насосной станции с турбинным регулированием расходов зависит от начальных параметров регулируемого по режиму насоса.

Для расчета характеристик НС при турбинном регулировании параметров используем математическое описание водопроводной сети, потребителя и насосов при их работе в насосном и турбинном режимах [1, 2, 6, 7].

При работе двух НА в насосном режиме справедлива система уравнений:

$$\begin{cases} H_1 = H_{01}v_1^2 - R_1Q_1^2; \\ H_2 = H_{02} - R_2Q_2^2; \\ H_c = H_{st} + R_cQ_c^2; \\ H_1 = H_2 = H_c; \\ Q_c = Q_1 + Q_2, \end{cases} \quad (1)$$

где H_{01} – напор регулируемого насоса при нулевом расходе, м; H_{02} – напор нерегулируемого насоса при нулевом расходе, м; v_1 – относительная частота вращения рабочего колеса насоса; R_1 – внутреннее сопротивление регулируемого насоса, определяется по паспортным характеристикам насоса, c^2/m^5 ; R_2 – внутреннее сопротивление нерегулируемого насоса, определяется по паспортным характеристикам насоса, c^2/m^5 ; Q_1, Q_2 – расходы регулируемого и нерегулируемого насосов, m^3/c ; H_c – напор сети, м; H_{st} – статический напор, м; R_c – гидродинамическое сопротивление сети, c^2/m^5 ; Q_c – расход в сети потребителя, m^3/c .

При достижении критического значения расхода в насосном режиме регулируемый НА с помощью преобразователя частоты (ПЧ) останавливается и начинает вращаться в обратном направлении. При достижении начального значения турбинного режима регулируемый насос начинает работать в турбинном режиме с рекуперацией электроэнергии в сеть. При работе регулируемого насоса в турбинном режиме справедлива система уравнений:

$$\begin{cases} H_{1tr} = H_{01tr}v_1^2 + R_{1tr}Q_1^2; \\ H_2 = H_{02} - R_2Q_2^2; \\ H_c = H_{st} + R_cQ_c^2; \\ H_{1tr} = H_2 = H_c; \\ Q_c = Q_2 - Q_1; \\ Q_{1tr\ min} \text{ при } P_{1tr} = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где H_{01tr} – начальное значение напора в турбинном режиме, м; R_{1tr} – собственное внутреннее сопротивление регулируемого насоса в турбинном режиме, c^2/m^5 ; $Q_{1tr\ min}$ – минимальное значение расхода в турбинном режиме, m^3/c ; P_{1tr} – мощность насоса в турбинном режиме, Вт.

Расчет характеристик произведен по алгоритму (рис. 2) с использованием обобщенных напорно-расходных характеристик (рис. 3).

На первом этапе алгоритма (рис. 2) происходит ввод паспортных данных насосов в насосном режиме работы (напор, расход, мощность, КПД), характеристика сети потребителя (статический напор, диапазоны расходов, сопротивление сети), рассчитывается коэффициент быстроходности насосов:

$$n_s = \frac{3,65n_n\sqrt{Q_n}}{H_n^{3/4}}, \quad (3)$$

где n_n, Q_n, H_n – номинальные значения частоты вращения, об/мин; производительности, m^3/c и напора, м.

На втором этапе происходит расчет критических частот вращения насосного режима и выбирается насос, который будет работать в трех режимах.

Значение критического расхода рассчитывается по выражению

$$Q_{kr1} = \sqrt{\frac{H_{01} - H_{st}}{R_c + R_1}}. \quad (4)$$

Значение критического напора определяется по

$$H_{kr1} = H_1(Q_{kr1}), \quad (5)$$

где $H_1(Q_{kr1})$ – значение напора при критическом значении расхода, м.

Значение критической частоты вращения рассчитывается по уравнению

$$v_{kr1} = \sqrt{\frac{H_{kr1}}{H_{01}}}. \quad (6)$$

После выбора насоса, который будет регулируемым, рассчитываются и строятся напорно-расходные, мощностные и энергетические характеристики для насосного режима, диапазоны работы в насосном режиме (третий этап).

На четвертом этапе определяются начальные значения напора и расхода в турбинном режиме:

– для определения напорно-расходных характеристик:

$$h_t = A(n_s)v^2 + B(n_s)q^2, \quad (7)$$

где q – относительный расход; $A(n_s), B(n_s)$ – аналитические выражения, которые равны:

$$\begin{aligned} A(n_s) &= 0,543 - 0,0093n_s; \\ B(n_s) &= 0,459 + 0,0039n_s; \end{aligned} \quad (8)$$

– для определения начальных точек напора и расхода воды турбинного режима:

$$\begin{aligned} \text{начальное значение напора в турбинном режиме:} \\ h_{0t} &= 0,3 - 6,82 \cdot 10^{-6}n_s^2; \end{aligned} \quad (9)$$

начальное значение расхода в турбинном режиме:

$$q_{0t} = 0,481 + 0,003n_s. \quad (10)$$

За основу символического описания принято представление напора, h_{0t} и расхода, q_{0t} в относительном виде, которое дает полное представление о значениях и связь между ними, а также показывает их динамику.

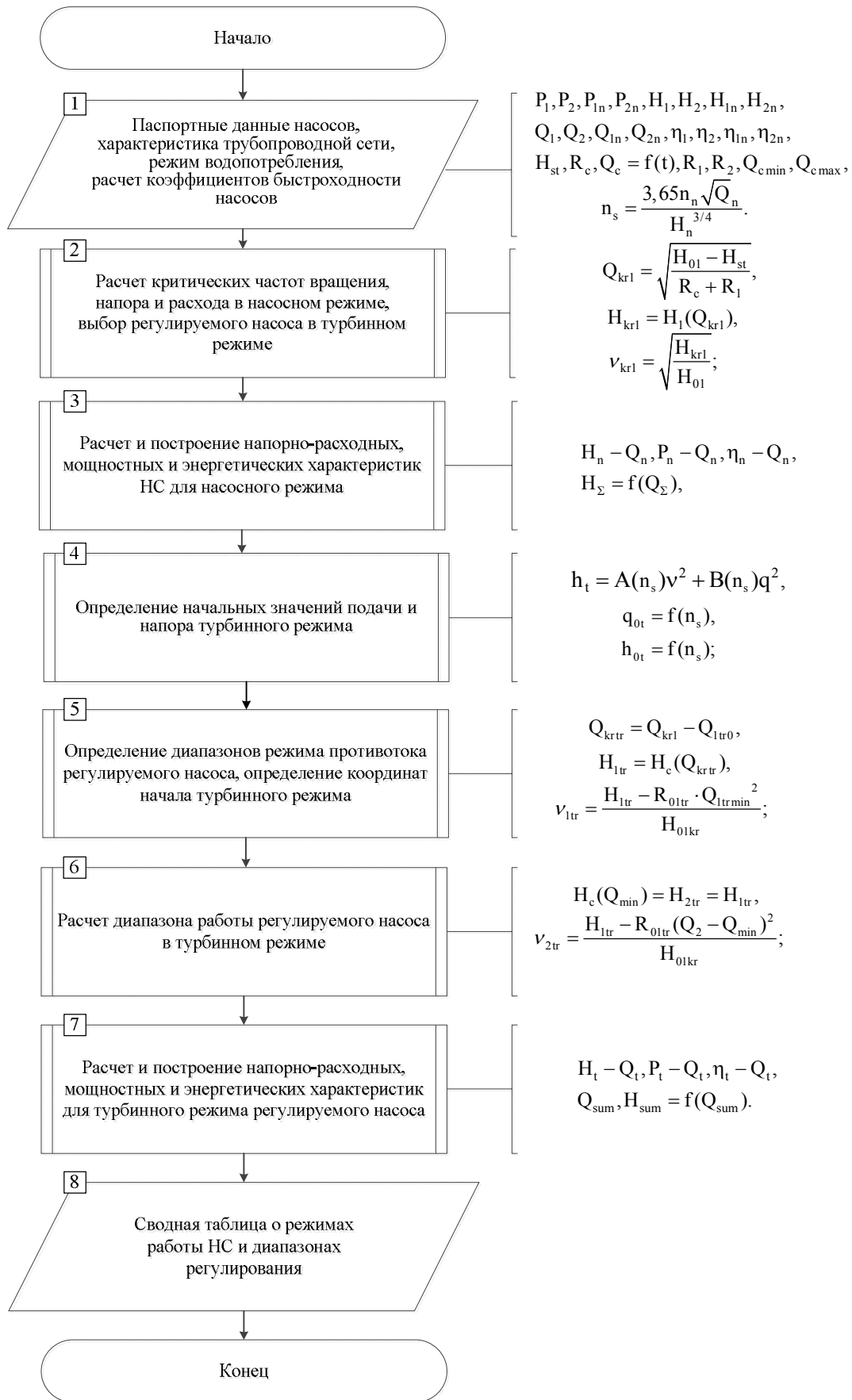


Рисунок 2 – Алгоритм расчета режимов работы НС

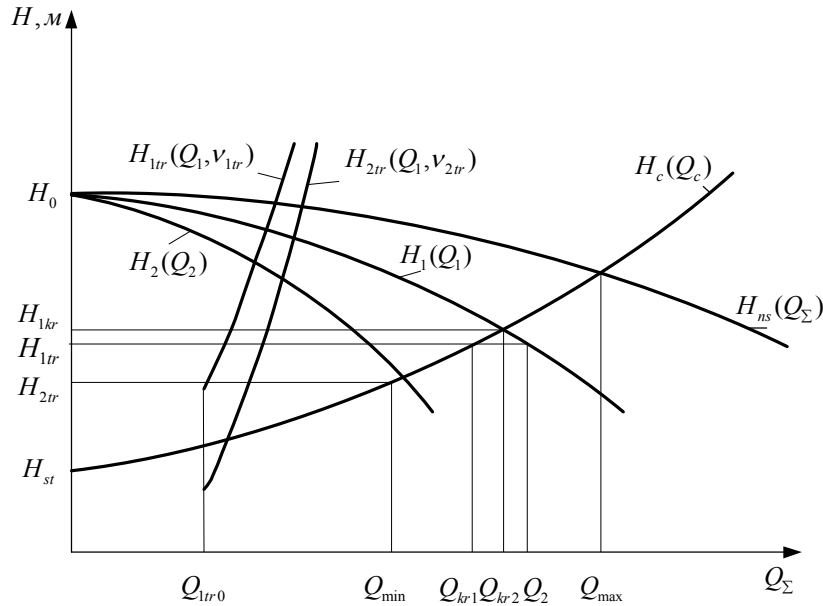


Рисунок 3 – Напорно-расходные характеристики насосной станции при ее работе в насосном и турбинном режимах:

$H_{1tr}(Q_1, v_{1tr})$ – напорно-расходная характеристика регулируемого насоса в турбинном режиме при максимальной частоте вращения в обратном направлении, $H_{2tr}(Q_1, v_{2tr})$ – напорно-расходная характеристика регулируемого насоса в турбинном режиме при минимальной частоте вращения в обратном направлении, $H_2(Q_2)$ – напорно-расходная характеристика регулируемого насоса в насосном режиме, $H_1(Q_1)$ – напорно-расходная характеристика нерегулируемого насоса в насосном режиме, $H_{ns}(Q_\Sigma)$ – суммарная напорно-расходная характеристика насосов в насосном режиме, $H_c(Q_c)$ – напорно-расходная характеристика сети

Для работы насоса в турбинном режиме необходимо, чтобы напоры нерегулируемого, регулируемого насосов и сети были равными. Для этого суммарный расход увеличивается на значение минимального расхода турбинного режима регулируемого насоса. Таким образом, на пятом этапе получаем новое критическое значение расхода (рис. 2):

$$Q_{kr\ tr} = Q_{kr1} - Q_{1tr0}, \quad (11)$$

где $Q_{kr\ tr}$ – начальное значение расхода в турбинном режиме с учетом значения минимального расхода турбинного режима регулируемого насоса, м³/с; Q_{kr1} – критическое значение расхода в насосном режиме, м³/с; Q_{1tr0} – начальное значение расхода в турбинном режиме регулируемого насоса, м³/с.

Диапазон ($Q_{kr\ tr}$; Q_{kr1}) является переходным между насосным и турбинным режимами и называется противотоком, в котором регулирование не осуществляется. Далее рассчитываются координаты начала турбинного режима регулируемого насоса. Начальный напор турбинного режима соответствует значению напора сети при исходном значении расхода в турбинном режиме:

$$H_{1tr} = H_c(Q_{kr\ tr}), \quad (12)$$

где $H_c(Q_{kr\ tr})$ – значение напора при начальном значении расхода в турбинном режиме, м.

Начальное значение частоты вращения для турбинного режима определяют по выражению

$$v_{1tr} = \frac{H_{1tr} - R_{01tr} Q_{01tr}^2}{H_{01kr}}, \quad (13)$$

где H_{1tr} – начальное значение напора в турбинном режиме, м; R_{01tr} – собственное внутреннее сопротивление регулируемого насоса в турбинном режиме, с²/м⁵; Q_{01tr} – начальное значение расхода в турбинном режиме регулируемого насоса, м³/с; H_{01kr} – значение напора регулируемого насоса на грани насосного режима, м.

На шестом этапе алгоритма расчета режимов работы НС производится расчет значений напора и частоты вращения регулируемого насоса в турбинном режиме при необходимом минимальном расходе в сети потребителя. Напор регулируемого насоса, работающего в турбинном режиме, соответствует напору сети при минимальном расходе и напору нерегулируемого насоса:

$$H_c(Q_{min}) = H_{2tr} = H_{1tr}, \quad (14)$$

где $H_c(Q_{min})$ – значение напора при минимальном расходе в сети потребителя, м; H_{2tr} – напор нерегулируемого насоса, м; H_{1tr} – напор регулируемого насоса, м.

Частота вращения регулируемого насоса при минимальном расходе в сети определяется как

$$v_{2tr} = \frac{H_{1tr} - R_{01tr}(Q_2 - Q_{min})^2}{H_{01kr}}, \quad (15)$$

где Q_{min} – значение минимального расхода в сети потребителя, м³/с.

После определения данных турбинного режима для регулируемого насоса рассчитываются напорно-расходные (рис. 2), мощностные и энергетические характеристики для турбинного режима (*седьмой этап*). Завершающим, *восьмым этапом* является объединение всех полученных и рассчитанных данных и создание сводной таблицы о режимах работы НС.

При работе НС с частотным регулированием одного из параллельно включенных насосов в насосном и турбинном режиме для регулирования технологических параметров используется составленный для программно-управляющего устройства алгоритм (рис. 4).

На *первом этапе* происходит ввод паспортных данных насосов в насосном режиме работы, характеристика сети потребителя, рассчитываются коэффициенты быстроходности насосов.

На *втором этапе* рассчитываются режимы работы НС и диапазоны регулирования.

На *третьем этапе* происходит запуск и работа насосов НС. Пуск центробежных насосов целесообразно осуществлять при наименьшей подаче (нулевой), т.к. у центробежного насоса момент с увеличением подачи возрастает. При пуске центробежных насосов момент, развиваемый электродвигателем, должен быть больше момента, потребляемого насосом. Разность этих моментов обеспечивает увеличение частоты вращения ротора насоса, что приводит к увеличению его напора. Разность между напорами насоса и в трубопроводе будет равна потерям напора в запорном устройстве [9].

Существенное значение при оценке процесса пуска имеет определение времени разгона T_p , т.е. продолжительности асинхронного хода гидромашин от состояния покоя до достижения подсинхронной частоты вращения, этот показатель определяет быстродействие установки, допустимый маховый момент вращающихся масс и служит для оценки гидродинамических явлений [8].

Время разгона определяется по выражению

$$T_p = \frac{J\omega_0}{M_d - M_c}, \quad (16)$$

где J – момент инерции ротора, кг·м²; ω_0 – номинальная угловая скорость, об/мин; M_d , M_c – значения вращающего момента двигателя и момента сопротивления, Н·м.

Данный этап продолжается заполнением водовода, происходит некоторая выдержка стабилизации режима.

Время заполнения вертикального трубопровода до отметки напора нулевого расхода H_Q при работе с номинальной частотой вращения определяется

$$T_z = \frac{4HQF_t}{Q_n}, \quad (17)$$

где F_t – площадь сечения тракта, м²; Q_n – расход нулевого напора, м³/с.

Со временем значение расхода меняется, и если его значение меньше критического значения расхода в насосном режиме, то используется регулирование посредством турбинного режима регулируемого насоса (*четвертый этап*).

Если значение расхода сети меньше Q_{kr1} , то регулируемый насос необходимо перевести в турбинный режим. Регулируемый насос через ПЧ останавливается и под действием потока начинает вращаться в обратном направлении (*шестой этап*).

В зависимости от требуемого расхода в сети потребителя, ПУУ, получая информацию от датчиков расхода, корректирует через преобразователь частоты частоту вращения и режим работы регулируемого насоса. Если значение требуемого расхода находится в диапазоне (Q_{kr} ; Q_{max}), то оба насоса работают в насосном режиме (*пятый этап*). При уменьшении расхода у потребителя до значения расхода критического Q_{kr2} необходимо создать условия для осуществления переходного режима регулирования насоса – прототока. Регулируемый насос посредством ПЧ останавливается и под действием обратного потока начинает вращаться в обратном направлении (*седьмой этап*).

При этом время до перемены направления расхода определяется по выражению [9]

$$T_Q = (1,75...1,82)\sqrt[3]{T_a T_w^2}, \quad (18)$$

где T_a – постоянная инерции агрегата, с, для обычных вертикальных гидроагрегатов $T_a = 6...11$ с, для капсульных – $T_a = 1,5...3$ с, T_w – постоянная инерции водовода, с, характеризующая инертность системы напорных водоводов, и рассчитывается как

$$T_w = \frac{Q_{max}}{gH_0} \int_0^L \frac{dl}{F}, \quad (19)$$

где l , F – длина и площадь сечений участков водовода.

Чем выше значения коэффициента T_w , тем при тех же условиях больше относительная величина ударного давления и тем сильнее его воздействие на процессы регулирования гидроагрегатов.

Время до перемены направления вращения определяется следующим образом [9]:

$$T_n = (2,75...2,80)\sqrt[3]{T_a T_w^2}. \quad (20)$$

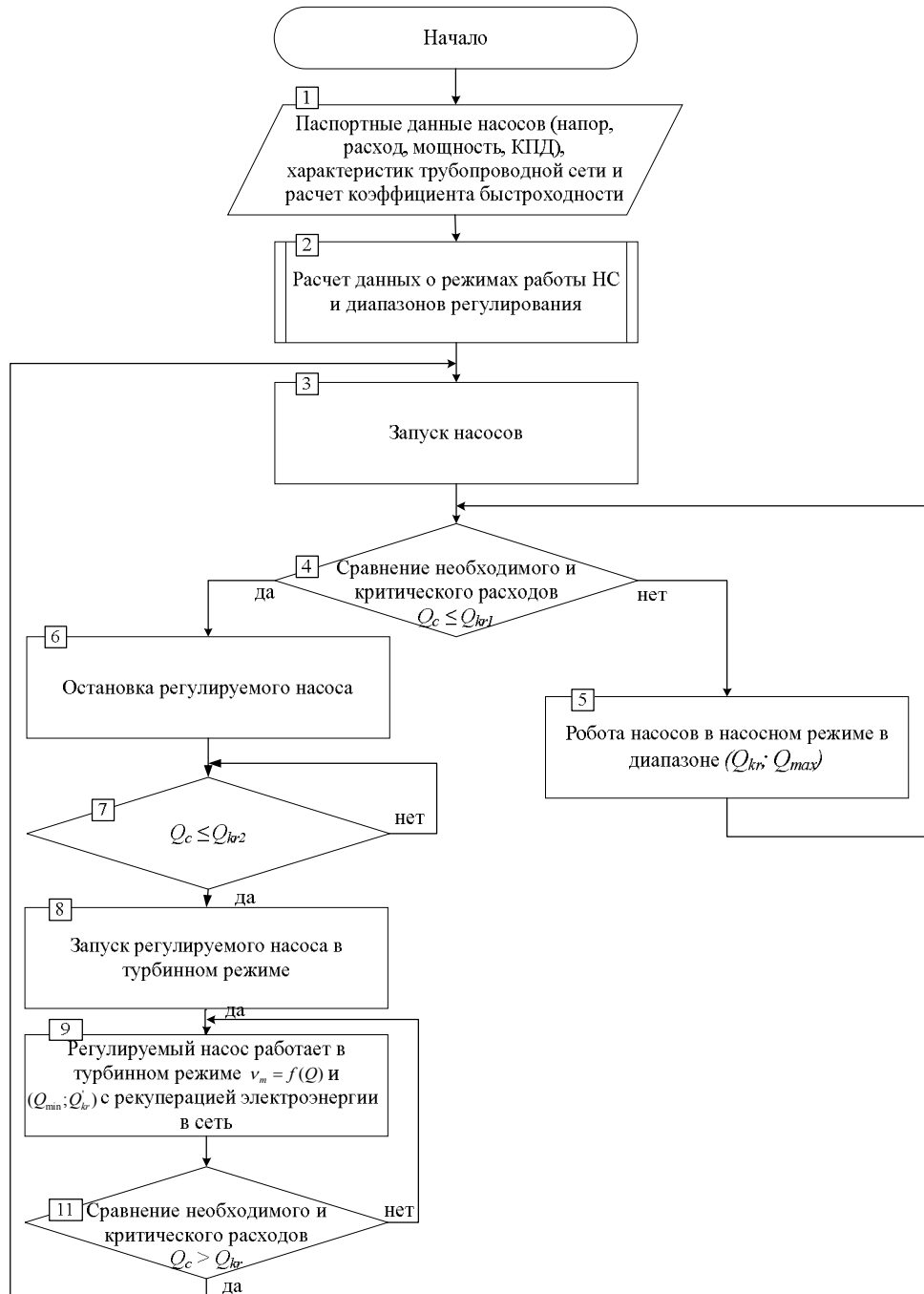


Рисунок 4 – Алгоритм работы насосной станции при турбинном регулировании ее производительности

Турбинное регулирование возможно, когда напоры нерегулируемого, регулируемого насосов и сети будут равны при значении расхода, необходимым для перехода в турбинный режим. Для этого происходит увеличение расхода нерегулируемого насоса на величину начального расхода турбинного режима регулируемого насоса Q_{lr0} .

На *седьмом этапе* (рис. 4) при достижении значения Q_{kr2} регулируемый насос начинает работать в турбинном режиме (*восьмой этап*) и преобразова-

тель переключается в режим рекуперации электроэнергии в электросеть. Диапазон регулирования в турбинном режиме зависит от значения напора, которое должно быть равным значениям напора нерегулируемого насоса и сети. Из значений напора определяются диапазоны частоты вращения $v_m = f(Q)$ и расходов $(Q_{min}; Q_{kr2})$, при этом не происходит регулирование в режиме противотока (*девятый этап*).

При достижении значения расхода сети, которое

превышает критическое значение расхода, сигнал с ПУУ (рис. 1) переводит преобразователь частоты в обычный режим и регулируемый насос работает в насосном режиме. При достижении значения требуемого расхода, не находящегося в диапазоне регулирования, происходит остановка насосов.

Завершающим этапом является расчет по алгоритму (рис. 2) диапазонов регулирования выходных технологических параметров, которые должна обеспечивать насосная станция. Затем происходит расчет режимов работы по алгоритму (рис. 4) и построение напорно-расходной характеристики работы насосной станции с двумя параллельно работающими насосными агрегатами Д3200–75 и Д1250–125 (рис. 3).

При анализе режимов работы насосной станции с турбинным регулированием была рассмотрена работа параллельно включенных центробежных насосов Д3200–75 и Д1250–125 мощностью, соответственно, 800 и 600 кВт, с переводом меньшего по мощности насосного агрегата в турбинный режим.

Паспортные характеристики исследуемых насосов Д3200–75 и Д1250–125 в насосном режиме и полученные характеристики турбинного режима приведены в табл. 1.

Напорно-расходные мощности и энергетические характеристики насосных агрегатов Д3200–75 и Д1250–125 приведены на рис. 5–7.

Таблица 1 – Параметры насосных агрегатов Д3200–75 и Д1250–125

Тип насоса	n_s	n , об/мин	Насосный режим									
			Q_0 , м ³ /час (м ³ /с)	$Q_{ном}$, м ³ /час (м ³ /с)	H_0 , м	H , м	N , кВт	η	T_p , с	T_z , мин	T_Q , с	T_N , с
Д3200–75	132	980	–	3200 (0,88)	88	75	710	0,89	4,69	4,5	0,0047	0,119
Д1250–125	84	1450	–	1250 (0,347)	140	90	540	0,78	11,43	8,05	0,0042	0,114
			Турбинный режим									
Д1250–125			911 (0,25)	2093 (0,58)	31	238	490	0,72				

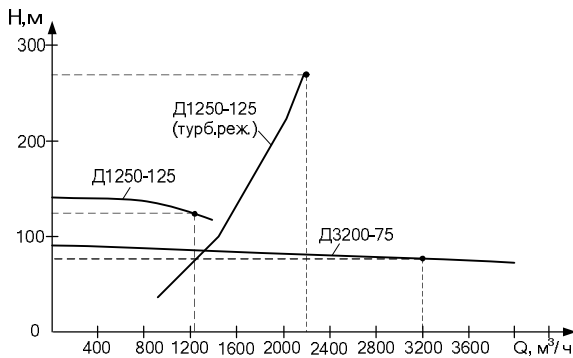


Рисунок 5 – Напорно-расходные характеристики насосов Д3200–75 и Д1250–125

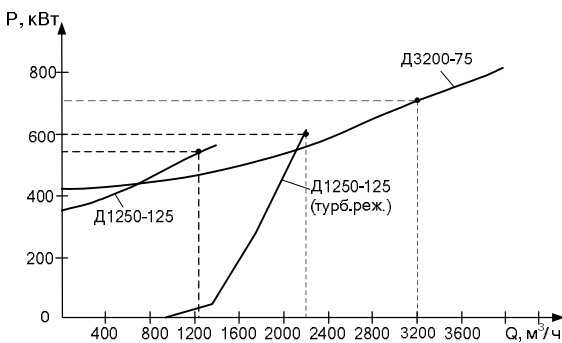


Рисунок 6 – Мощностные характеристики насосов Д3200–75 и Д1250–125

На рис. 8 приведен график суточного водопотребления с режимами работы НС с турбинным регулированием параметров, полученный в соответствии с алгоритмами (рис. 2, 4). НС функционирует в условиях переменного водопотребления с минимальным $Q_{min}=0,86$ м³/с и максимальными расходами $Q_{max}=1,236$ м³/с.

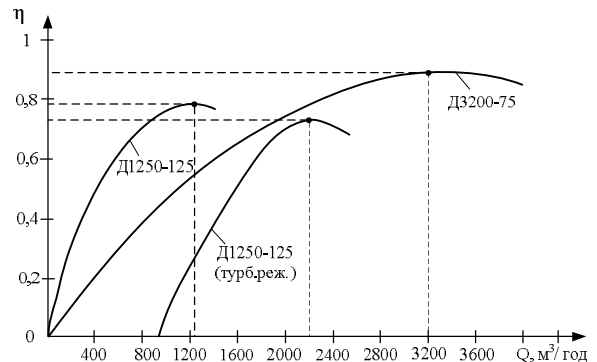


Рисунок 7 – Энергетические характеристики насосов Д3200–75 и Д1250–125

Насос Д3200–75 работает постоянно, а насос Д1250–125 переводится в турбинный режим, в зависимости от значения требуемого расхода в сети потребителя. При работе насосов в номинальном на-

сосном режиме максимальный суммарный расход составляет $Q_{max}=1,236 \text{ м}^3/\text{с}$, что обеспечивает нужды потребителя. Значение критического расхода, при котором происходит переход регулируемого агрегата в режим противотока, составляет $Q_{kr}=1,06 \text{ м}^3/\text{с}$. После режима противотока, в котором насосный агрегат не потребляет электроэнергию, происходит переход в турбинный режим с переключением преобразователя частоты в режим рекуперации энергии, при этом значение расхода. При котором начинается турбинный режим, составляет $Q_{kr}'=0,91 \text{ м}^3/\text{с}$. Регулирование в турбинном режиме осуществляется, пока значение напора насосов и сети будут равны, поэтому максимальная частота вращения регулируемого насоса в турбинном режиме составляет 57 % от номинального значения частоты вращения в насосном режиме. Минимальное значение суммарного расхода, при котором используется турбинный режим регулируемого насосного агрегата и обеспечивается регулировочный диапазон выходных технологических параметров, составляет $Q_{min}=0,86 \text{ м}^3/\text{с}$.

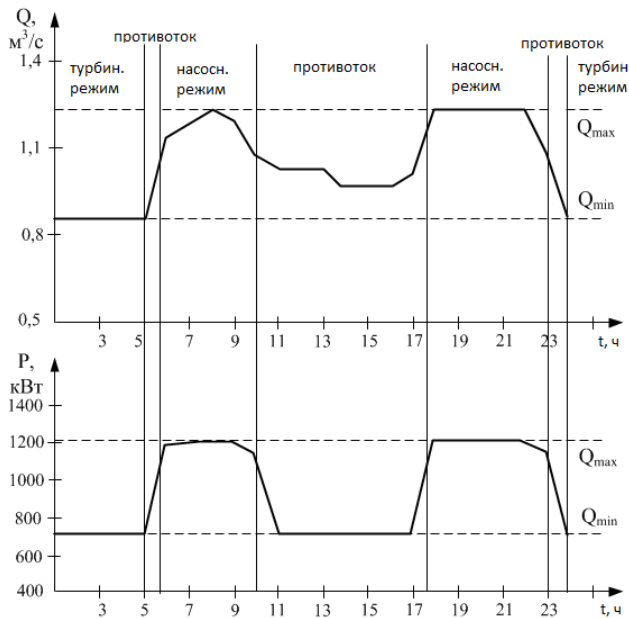


Рисунок 8 – График суточного водопотребления и потребляемой электроэнергии

При использовании разработанного способа регулирования режимов работы НС, с переводом меньшего по мощности насосного агрегата Д1250–125 ($P = 600 \text{ кВт}$) в турбинный режим и рекуперацией электроэнергии в сеть, можно добиться снижения потребляемой электроэнергии на 19 %. Экономический эффект от разработанного способа составляет 223,916 тыс. у.е., а срок окупаемости – 1,216 года.

ВЫВОДЫ. Таким образом, разработан метод турбинного регулирования производительности насосных станций, создано математическое описание для насосного и турбинного режимов работы насосной станции с турбинным регулированием с двумя

параллельно включенными насосами, один из которых переводится в турбинный режим, позволяющий определять значение критического расхода Q_{kr} , необходимое для перевода насоса в турбинный режим. Созданы алгоритмы расчета режимов работы НС и диапазонов регулирования. Проведен анализ режимов работы НС с турбинным регулированием при использовании центробежных насосов Д3200–75 и регулируемого Д1250–125 мощностью, соответственно, 800 и 600 кВт. Установлено, что при обеспечении диапазона выходного суточного расхода от $Q_{min} = 0,86 \text{ м}^3/\text{с}$ до $Q_{max} = 1,236 \text{ м}^3/\text{с}$ регулируемый насос в режиме противотока электроэнергии не потребляет, а в турбинном режиме происходит рекуперация электроэнергии в сеть, которая за год составит 27260 кВт. По сравнению с установкой преобразователя частоты на более мощный насос НС с турбинным регулированием потребляет на 19 % меньше мощности, а применение четырехквadrантного ПЧ для регулируемого по режиму насоса позволяет плавно изменять режимы работы и использовать регулируемый насос в диапазоне высоких КПД, увеличивать ресурс работы оборудования и насоса, увеличивать периоды между плановыми ремонтами, снижать вероятность гидроударов.

Предложенный способ турбинного регулирования параметров насосной станции позволяет повысить энергоэффективность функционирования и точность поддержания выходных технологических параметров насосной станции с двумя параллельно включенными насосами. При этом в турбинном режиме происходит рекуперация энергии в сеть, что позволяет значительно улучшить экономические показатели использования насосной станции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карелин В.Я., Новодережкин Р.А. Насосные станции с центробежными насосами. – М.: Стройиздат, 1983. – 204 с.
2. Чебаевский В.Ф. Проектирование насосных станций и испытание насосных установок. – М.: Колос, 2000. – 376 с.
3. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод. – М.: Академия, 2004. – 256 с.
4. Коренькова Т.В. Технично-экономическая оценка эффективности использования системы ТРН–АД в электроприводе насосных установок // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2001. – № 11. – С. 98–101.
5. Перекрест А.Л., Коренькова Т.В., Родькин Д.И. Системы активного регулирования параметров насосных комплексов: монография. – Кременчуг: ЧП Щербатых А.В., 2011. – 180 с.
6. Перекрест А.Л., Щербина А.В., Карпенко О.А., Васильев Д.С. Определение показателей турбинного режима насосов станций городского водоснабжения // Електромеханічні та енергосберегаючі системи. – 2013. – Кременчуг, КрНУ, 2013. – Вып. 2/2013 (22), часть 2. – С. 233–238.

7. Кривченко Г.И., Аршеневский Н.Н., Квятковская Е.В. и др. Гидромеханические переходные процессы в гидроэнергетических установках. – М.: Энергия, 1975. – 368 с.
8. Вишнеvский К.П. Переходные процессы в на-

порных системах водоподачи. – М.: Агропромиздат, 1986. – 135 с.

9. Кривченко Г.И. Гидравлические машины, турбины и насосы. – М.: Энергия, 1983. – 320 с.

TURBINE REGULATION PERFORMANCE PUMP STATION

A. Perekrest, O. Karpenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

ul. Pervomayskaya, 20, Kremenchug, 39600, Ukraine. E-mail: wey77@mail.ru

To improve the efficiency of the pumping stations is necessary to improve the existing and new justification methods and means to regulate their process parameters. A promising way to control the parameters of pumping stations is the use of a turbine mode of the parallel pump station, which allows you to change the performance within the required limits with simultaneous recovery of energy. In this paper, the operation of urban water supply pumping station when developing a model schedule of water supply through the use of a turbine regime of one of the pumps operating in parallel. For the performance of the turbine control algorithms for calculating the modes and operation of the pumping station, which take into account the conditions of the transition variable pump mode to mode and features of the parallel operation of the units. These estimates show that the regulation of the turbine performance can be achieved to reduce power consumption by 19% per day compared to the frequency.

Key words: turbine control, pump station, the turbine mode, energy efficiency.

REFERENCES

1. Karelin, V.Ja. and Novoderezhkin, R.A. (1983), *Nasosnye stantsii s centrobezhnymi nasosami* [Pumping stations with centrifugal pumps], Stroyizdat, Moscow, Russia. (in Russian)
2. Chebaevskij, V.F. (2000), *Proektirovanie nasosnyh stantsiy i ispytanie nasosnyh ustanovok* [Design of pumping stations and test pumping units], Moscow, Russia. (in Russian)
3. Braslavskiy, I.Ja. (2004), *Energoberegajushhiy asinhronnyj elektroprivod* [Energy-saving asynchronous electric], Academy, Moscow, Russia. (in Russian)
4. Korenkova, T.V. (2001), "Techno-economic evaluation of the effectiveness of the use of TPH-AD in the electric pump sets", *Transactions of the Kremenchug State Polytechnic University*, no. 11, pp. 98–101. (in Russian)
5. Perekrest, A.L., Korenkova, T.V. and Rodkyn, D.Y. (2011), *Sistemy aktivnogo regulirovaniya parametrov nasosnyh kompleksov* [Actively controlling the parameters of the system of pumping systems], Monografija, Kremenchug, Ukraine. (in Russian)
6. Perekrest, A.L., Shherbina, A.V., Karpenko, O.A. and Vasilyev, D.S. (2013), "Defining indicators turbine mode of urban water pump", *Electromechanical and energy saving systems*, no. 2, iss. 22, pp. 233–238. (in Russian)
7. Krivchenko, G.I., Arshenevskiy, N.N., Kvyatkovskaya, E.V. and oth. (1975), *Gidromehaniicheskie perehodnye protsessy v gidroenergeticheskikh ustanovkah* [Hydro-mechanical transients in hydropower plants], Energy, Moscow, Russia. (in Russian)
8. Vishnevskiy, K.P. (1986), *Perehodnye processy v napornyh sistemah vodopodachi* [Transients in the pressure of water supply systems], Agropromizdat, Moscow, Russia. (in Russian)
9. Krivchenko G.I. (1983), *Gidravlicheskie mashiny, turbiny i nasosy* [Hydraulic machines, turbines and pumps], Energiya, Moscow, Russia. (in Russian)

Стаття надійшла 12.09.2013.