

УДК 621.3

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУСКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО АГРЕГАТА НА ДАВЛЕНИЕ В ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ КАК ЛИНИИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В. Б. Клепиков, П. А. Коротаев

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: pahan312@yandex.ru

Показано, что при пусках электроприводов насосов имеет место существенное повышение давления в водопроводных сетях, обусловленное волновыми процессами в водопроводной сети как линии с распределенными параметрами. Именно данное явление может быть причиной частых порывов в сетях при их изношенности. Показано, каким образом средствами электропривода можно снизить амплитуду давления в водопроводной сети в зависимости от ее протяженности.

Ключевые слова: гидравлический удар, насосный агрегат, повышение напора.

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПУСКУ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НАСОСНОГО АГРЕГАТУ НА ТИСК У ВОДОПРОВІДНІЙ МЕРЕЖІ ЯК ЛІНІЇ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

В. Б. Клепиков, П. А. Коротаев

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002, Україна. E-mail: pahan312@yandex.ru

Показано, що при пусках електроприводів насосів має місце істотне підвищення тиску у водогінних мережах, обумовлене хвильовими процесами у водогінній мережі як лінії з розподіленими параметрами. Саме дане явище може бути причиною частих поривів у мережах при їхній зношеності. Показано, яким чином засобами електропривода можна знизити амплітуду тиску у водогінній мережі залежно від її довжини.

Ключові слова: гідравлічний удар, насосний агрегат, підвищення тиску.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Износ систем централизованного водоснабжения и водоотведения Украины составляет 60,8 %. Для водопроводных сетей Харькова проблема изношенности является исключительно острой, их износ составляет 70 %. По данным Харьковского КП «ПТП «Вода», в летний период 2011 г. остановки нескольких высоконапорных насосных станций всего на 10 минут было достаточно, чтобы после возобновления их работы возникло до сотни одновременно существующих порывов, тогда как ликвидировать за сутки удавалось лишь 17 [1].

В 2008 году на насосной станции второго подъема п.г.т. Солоницевка был модернизирован электропривод (ЭП) насосной установки на базе преобразователя частоты ПЧРТ-03, разработанного кафедрой «Автоматизированные электромеханические системы» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» и внедренного в опытную серию на Харьковском приборостроительном заводе им. Шевченко. Опыт эксплуатации на протяжении двух лет частотно-регулируемого электропривода показал высокую эффективность модернизации нерегулируемых электроприводов насосных агрегатов. Так, помимо существенной экономии электроэнергии (40,5 %), сокращения потерь воды до 20–25 %, было также достигнуто значительное сокращение числа порывов водопроводной сети с 60 до 8–10 за год [2].

Проводилась проверка методом компьютерного моделирования по данным объекта внедрения предположения о том, что причиной порывов могут быть волновые процессы в водопроводной сети как линии с распределенными параметрами. Моделирование показало, что при определенных условиях при прямом пуске давление в отдельных точках сети могло превышать номинальное почти в три раза.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

В настоящей работе исследуется влияние нарастания скорости электропривода центробежного насоса на величину давления интенсивности при пуске.

На рис. 1 показана математическая модель в структурной форме электропривода насосной установки, работающей на водопроводную сеть, которая состоит из:

- асинхронного двигателя, в котором звено электромеханического преобразования энергии представлено апериодическим звеном первого порядка [3];
- преобразовательного агрегата – преобразователя частоты;
- насосного агрегата – механизма с линейными свойствами и сложными динамическими характеристиками;
- гидротранспортной сети.

С учетом работы насоса на систему с противодействием, статический момент на валу двигателя выражается зависимостью [4]

$$M_c = M_0 v^2 + (M_n - M_0) v \sqrt{\frac{H_0 v^2 - H_c}{H_0 - H_c}}, \quad (1)$$

где $v = \omega / \omega_{ном}$ – относительная скорость вращения рабочего колеса насоса; ω , $\omega_{ном}$ – текущая и номинальная частоты вращения насоса c^{-1} ; H_0 – напор, развиваемый насосом при нулевой подаче (закрытая задвижка), м; H_c – противодействие в гидравлической сети, м; M_n – номинальный момент турбомеханизма, Нм; $M_0 = P_0 / \omega_{ном}$ – момент, определяемый мощностью на валу турбомеханизма при нулевом расходе и номинальной скорости вращения, кВт; – в качестве регулятора давления использован ПИ-регулятор с передаточной функцией [4]:

$$W_p = k_p + \frac{k_p}{T_n p}, \quad (2)$$

где k_p – коэффициент усиления регулятора давления; T_n – постоянная времени регулятора давления.

Модель трубопроводной сети и потребителя принята из [5].

Трубопроводная сеть описывается телеграфными уравнениями, решение которых с помощью метода конечных элементов позволяет представить трубопроводную сеть конечным числом участков с равными параметрами.

Тогда для i -го участка уравнения напора и расхода будут иметь вид:

$$\begin{cases} H_i - H_{i-1} + l_0 l_{уч} \frac{dQ_i}{dt} + r_0 l_{уч} |Q_i| Q_i = 0; \\ \frac{dH_i}{dt} + c_0 \frac{1}{l_{уч}} (Q_i - Q_{i-1}) = 0, \end{cases} \quad (3)$$

где r_0, c_0, l_0 – удельные параметры участка

трубопровода; $H_i, Q_i, H_{i-1}, Q_{i-1}$ – напор и расход на выходе и входе i -го участка трубопровода соответственно; λ – коэффициент сопротивления трубопровода; k_e – коэффициент шероховатости трубы, м.

Потребителя представим характеристикой вида

$$H_{номр} - h_{ст} = R_{номр} Q_{номр}^2, \quad (4)$$

где $H_{номр}, Q_{номр}$ – напор и расход в сети потребителя соответственно, [М], [М³/с]; $R_{номр}$ – номинальное гидравлическое сопротивление потребителя, с²/м⁵; $H_{номр н}, Q_{номр н}$ – номинальный напор и расход в сети потребителя, [М], [М³/с]; $h_{ст}$ – статический напор потребителя, м.

Моделирование проводилось для насосной станции, осуществляющей подачу воды с помощью центробежного насоса мощностью $P_n=15$ кВт по трубопроводной магистрали длиной L . Номинальный напор и производительность насоса соответственно равны $H_n=28$ м и $Q_n=80$ м³/ч, напор насоса при нулевой подаче составляет $H_0=120$ м. Потребитель осуществляет забор воды из последнего участка магистрали.

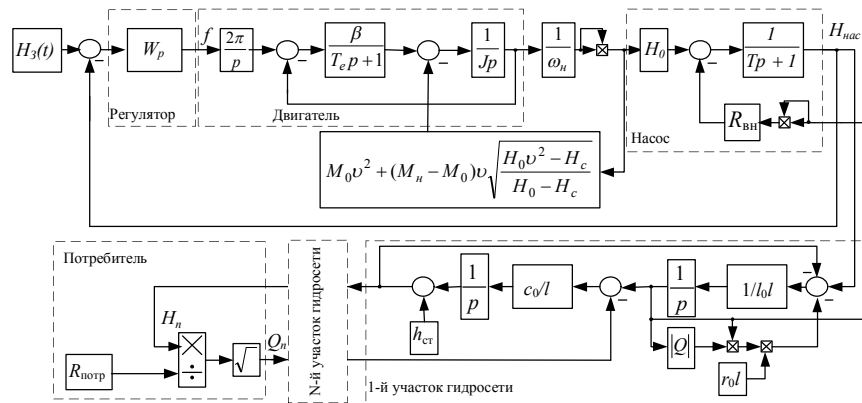


Рисунок 1 – Математическая модель в структурной форме электропривода насосной установки, работающей на водопроводную сеть

Моделирование проводилось для случая, когда расход потребителя $Q_n(t)=0$.

Результаты моделирования прямого пуска (рис. 2) насосного агрегата (НА) с трубопроводной линией длиной $L=1000$ м показали почти трехкратное превышение давления при гидравлическом ударе, до 65 м при номинальном 28 м.

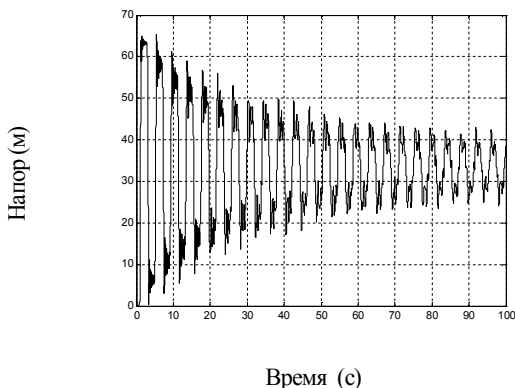


Рисунок 2 – Изменение напора у потребителя

При увеличении времени пуска насосной установки до 20 с удалось существенно уменьшить повышение давления при пуске. Его значение не превышает 29 м, что составляет 5 % H_n (рис. 3).

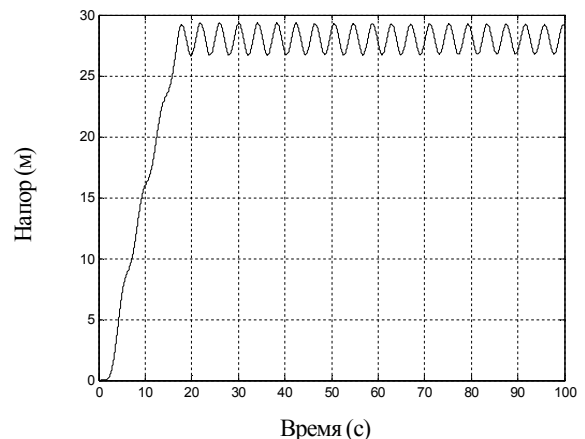


Рисунок 3 – Изменение напора на последнем участке сети при плавном пуске

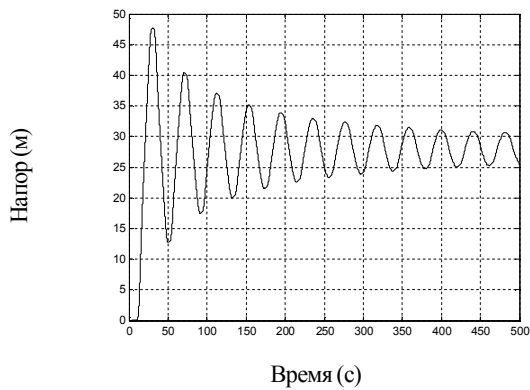


Рисунок 4 – Изменение напора на последнем участке сети при пуске НА за 20 с и $L=5000$ м

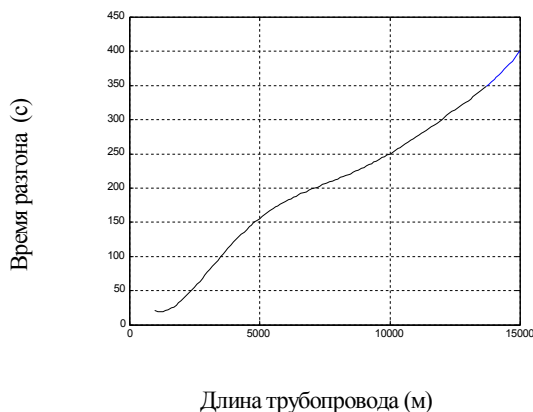


Рисунок 5 – Зависимость времени пуска НА от длины трубопроводной магистрали

Исследования (рис. 4) показали, что при увеличении длины трубопроводной магистрали, полученного ранее, времени пуска оказывается недостаточным для возникновения повышения давления.

Дальнейшие исследования позволили получить зависимость времени пуска, при котором повышение давления не превышает 5 % H_n электропривода насосной установки от длины трубопроводной магистрали (рис. 5).

ВЫВОДЫ. Использование систем плавного пуска насосного агрегата позволит избежать повышения давления в водопроводной системе. При выборе времени пуска электропривода насосной установки следует учитывать длину трубопроводной магистрали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буряковская Т. Харьковские коммунальщики готовятся к зиме // *Время*. – 2011. – № 673. – С. 1.
2. Клепиков В.Б., Коротаев П.А. К итогам эксплуатации энергосберегающего электропривода станции второго подъема п.г.т. Солонищевка // *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*. – Харьков, 2011. – № 5. – С. 15–18.
3. Ключев В.И. Теория электропривода – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
4. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Регулируемые электроприводы переменного тока – Минск: Техноперспектива, 2006. – 363 с.
5. Кравец А.М., Коренькова Т.В. Математическая модель гидротранспортного комплекса с управляемой трубопроводной арматурой // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал*. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 2 (6). – С. 29–32.

INFLUENCE THE START-UP PUMP ELECTRIC DRIVE PARAMETERS ON PRESSURE IN THE WATER SUPPLY SYSTEM AS LINES WITH THE DISTRIBUTED PARAMETERS

V. Klepikov, P. Korotaiev

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»
ul. Frunze, 21, Kharkiv, 61002, Ukraine. E-mail: pahan312@yandex.ru

In article it is shown that at start-up of pumps electric drives there is an essential increase of pressure in water supply systems. It is caused by wave processes in a water supply system as lines with the distributed parameters. This phenomenon can cause frequent rushes in networks at their deterioration. It is shown how means of the electric drive it is possible to reduce pressure amplitude in a water supply system depending on its extent.

Key words: hydraulic blow, pump unit, pressure increase.

REFERENCES

1. Buryakovskaya T. The Kharkov housing and communal services prepare for winter // *Time*. – 2011. – № 673. – PP. 1. [in Russian]
2. Klepikov V.B., Korotaiev P.A. To results of the the second lifting station energy saving electric drive operation settlement of city type of Solonitsevska // *Energy saving. Power. Power audit*. – Kharkiv, 2011. – № 5. – PP. 15–18. [in Russian]
3. Klyuchev V.I. *Theory of the electric drive* – M.: Energoatomizdat, 2001. – 704 c. [in Russian]
4. Firago B.I., Pavlyachik L.B. *Adjustable electric drives of an alternating current* – Minsk: Tekhnoperspektiva, 2006. – 363 p. [in Russian]
5. Kravets A.M., Korenkova T.V. Mathematical model of a hydrotransport complex with operated pipeline fittings // *Electromechanical and energy saving systems. Quarterly research-and-production magazine*. – Kremenchuk: KSPU, 2009. – Iss. 2 (6). – PP. 29–32. [in Russian]

Стаття надійшла 9.07.2012.
Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Сінчуком О.М.