

## ПРИМЕНЕНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО АГРЕГАТА В СИСТЕМЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Малайчук Л. М., Федосов И. В.

Санкт-Петербургский Государственный Аграрный Университет

*Произведено сравнение энергопотребления насосным агрегатом при различных способах регулирования его подачи.*

**Постановка проблемы.** Насосные станции второго подъёма не нашли широкого применения в локальных системах водоснабжения сельскохозяйственных объектов. Поэтому для водоснабжения подобных объектов стала применяться башенная системы водоснабжения.

Несмотря на простоту, применение водонапорной башни в системе водоснабжения имеет существенные недостатки: высокая стоимость, эксплуатации; трудность использования в зимний период; наличие обширных областей периодического смачивания внутренней поверхности башни приводит к коррозии, что влечет за собой потери воды и ухудшение ее качества; отсутствие возможности регулировать давление, которое непостоянно (зависит от уровня воды) и ограничено высотой башни.

Недостатки водонапорной башни, а также развитие регулируемого электропривода заставляют вновь задуматься о применении насосных станций в локальных системах сельскохозяйственного водоснабжения.

**Анализ последних публикаций.** Развитие силовой электроники способствовало широкому внедрению регулируемого электропривода насосных агрегатов во все сферы деятельности человека, но на наш взгляд в литературе недостаточно внимания уделяется внедрению регулируемого насосного агрегата в системах водоснабжения сельскохозяйственных объектов, имеющих свои ярко выраженные особенности.

**Цель статьи.** Цель статьи сравнить на представленной методике потребление энергии насосным агрегатом при различных способах регулирования подачи.

**Основные материалы исследования.** Анализ режима работы насосного агрегата станции выполняется с использованием характеристик насоса и сети.

Характеристика сети  $H=f(Q)$  показывает, какой напор должен быть создан насосом в начале сети для перемещения по ней определённого количества воды с обеспечением необходимого свободного напора  $H_{CB}$  в диктующей точке. Она выбирается из условия, что если в ней поддерживается требуемый свободный напор  $H_{CB}$ , то в остальных точках сети напор будет не меньше  $H_{CB}$ .

Принято характеристики водопроводов изображать в виде отрезка квадратичной параболы (кривая 1 на рис. 1), построенной в соответствии с общеизвестным уравнением:

$$H = H_{CT} + R \cdot Q^2, \quad (1)$$

$$H_{CT} = (\nabla_D - \nabla_{H.C.}) + H_{CB}, \quad (2)$$

где  $H_{CT}$  – статический напор, м;

$R$  – гидравлическое сопротивление водопровода,  $c^2 / м^5$ ;

$Q$  – расход воды,  $м^3/ч$ ;

$\nabla_D$  – отметка земли в диктующей точке, м;

$\nabla_{H.C.}$  – отметка земли в месте установки насосной станции, м;

$H_{CB}$  – свободный напор, м.

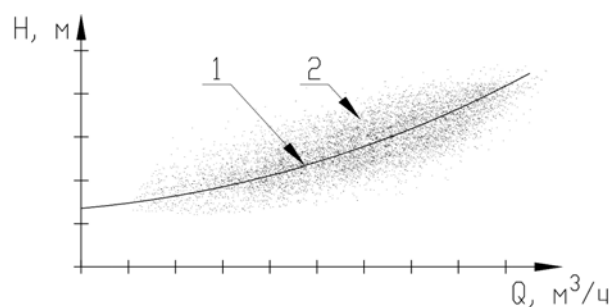


Рисунок 1 – Характеристика разветвленной системы водоснабжения с промежуточными отборами воды: 1 – эквивалентная характеристика; 2 – область расположения точек, определяющих зависимость  $H=f(Q)$

Реальные системы подачи и распределения воды имеют достаточно сложную структуру с промежуточными отборами воды (рис. 2). Поэтому на величину потерь напоров, кроме водопотребления, влияет также место отбора воды из системы.

В силу этих причин потери напора в разветвленных трубопроводных системах неоднозначно зависят от расхода воды, т.е. одному значению расхода воды в диктующей точке  $B$  соответствует множество значений потерь давления  $h$ .

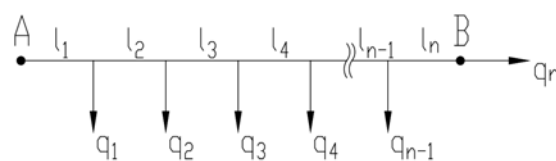


Рисунок 2 – Принципиальная схема разветвленной системы водоснабжения с промежуточными отборами воды

Для обеспечения необходимого свободного напора  $H_{CB}$  в диктующей точке  $B$  (рис. 2) напор  $H$ , развиваемый насосом:

$$H = (\nabla_D - \nabla_{H.C.}) + H_{CB} + h, \quad (3)$$

где  $h = h_1(q_1) + h_2(q_2) + h_3(q_3) + h_4(q_4) + \dots + h_n(q_n)$  – сумма потерь напора на участке от насоса до диктующей точки  $B$ , м.

Так как расходы воды потребителями  $q_i$ , которые определяются многими, не зависящими друг от друга причинами, не остаются постоянными относительно друг друга, то характеристики водопроводных сетей с промежуточными отборами воды образуют некоторую область расположения множества точек (область 2 на рис. 1), определяющих зависимость  $H=f(Q)$ .

Характеристики  $H=f(Q)$ ,  $P_{нас.пол} = f(Q)$ ,  $P_{нас} = f(Q)$ ,  $\eta_{нас} = f(Q)$  центробежного насоса описываются уравнениями [1]:

$$H = A_2 \cdot \omega^2 + B_2 \cdot \omega \cdot Q + C_2 \cdot Q^2, \quad (4)$$

$$P_{нас.пол} = \frac{g \cdot \rho \cdot Q \cdot H}{3600}, \quad (5)$$

$$P_{нас} = A_3 \cdot \omega^2 \cdot Q - B_3 \cdot \omega \cdot Q^2 + D_3 \cdot \omega^3, \quad (6)$$

$$\eta_{нас} = \frac{P_{нас.пол}}{P_{нас}}, \quad (7)$$

где  $A_2, B_2, C_2, A_3, B_3, D_3$  – коэффициенты, определяемые по паспортным характеристикам насоса;

$\omega$  – угловая скорость насоса, рад/с;

$g$  – ускорение свободного падения;

$\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

Для нахождения параметров работы насоса при нерегулируемом электроприводе насоса  $\omega=const$  значение расхода  $Q$  необходимо подставить в формулы (4), (5), (6), (7).

Для изучения режимов работы насосных установок за период времени суточными графиками пользоваться неудобно. Главным образом потому, что они могут существенно отличаться один от другого по дням недели, временам года.

Их практически невозможно описать математическими уравнениями. По этим причинам для анализа режимов работы насосной установки может использоваться упорядоченная диаграмма водопотребления  $Q=f(t)$ .

Под упорядоченной диаграммой понимается кривая, соединяющая ординаты графиков водопотребления в порядке возрастания или убывания за какой-либо период времени.

Для расчёта мы взяли упорядоченную диаграмму животноводческого комплекса, расположенного в Тосненском районе, Ленинградской области за 190 ч измерений (рис. 3).

Из формулы (3) напор в диктующей точке  $B$ :

$$H_{CB} = H - h - (\nabla_D - \nabla_{H.C.}). \quad (8)$$

При регулируемом насосном агрегате угловая скорость вращения насоса  $\omega$  находится из формулы (4):

$$\omega = \frac{\sqrt{B_2^2 \cdot Q^2 - 4 \cdot A_2 \cdot C_2 \cdot Q^2 + 4 \cdot A_2 \cdot H - B_2 \cdot Q}}{2 \cdot A_2}, \quad (9)$$

где  $Q$  – значение расхода из упорядоченной диаграммы, м<sup>3</sup>/ч;

$H$  – напор, поддерживаемый в начале сети (напор развиваемый насосом).

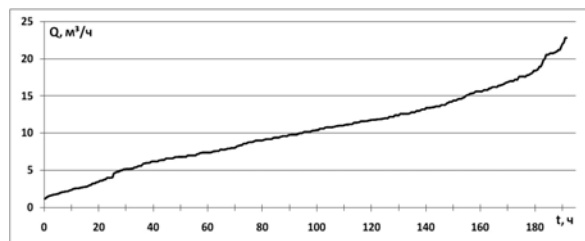


Рисунок 3 – Упорядоченная диаграмма водопотребления  $Q=f(t)$  животноводческого комплекса

Характеристики  $P_{нас.пол} = f(Q)$ ,  $P_{нас} = f(Q)$ ,  $\eta_{нас} = f(Q)$  центробежного насоса находятся при подстановке значений  $H$ ,  $Q$ ,  $\omega$  в формулы (5), (6), (7).

В формуле (8) при регулируемом насосном агрегате с поддержанием постоянного напора в начале сети  $H=const$ .

А при регулируемом насосном агрегате с поддержанием постоянного напора в диктующей точке  $H_{CB} = const$ , величина напора, развиваемого насосом  $H$ , определяется из формулы (3).

Для этого необходимо знать каждый промежуточный расход  $q_i$  на сети.

Момент  $M$ , развиваемый насосом, Н·м:

$$M = \frac{P_{нас}}{\omega}. \quad (10)$$

Энергия, потребляемая насосом, Вт·ч:

$$W_{нас} = \int_{t_1}^{t_2} P_{нас} dt. \quad (11)$$

Применяя приведенные выше формулы для расчета режима работы насоса животноводческого комплекса, получены следующие результаты: на рис. 4 приведены графики, характеризующие работу насоса К20/30а с асинхронным электродвигателем 4А80В2У3 в течение расчетного периода.

Подставляя значения моментов  $M$  и угловых скоростей  $\omega$  в формулы [3], определяются параметры, характеризующие работу как нерегулируемого асинхронного двигателя, так и двигателя с частотным преобразователем.

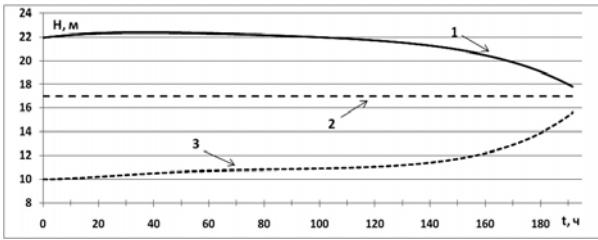


Рисунок 4 - Графики изменения напора  $H$  насоса в течение расчетного периода:

1 - характеристики насоса при нерегулируемой частоте вращения насоса; 2 - характеристики насоса при регулировании частоты вращения насоса с поддержанием постоянного напора в начале сети  $H = const$ ; 3 характеристики насоса при регулировании частоты вращения насоса с поддержанием постоянного напора в диктующей точке  $H_{CB} = const$ .

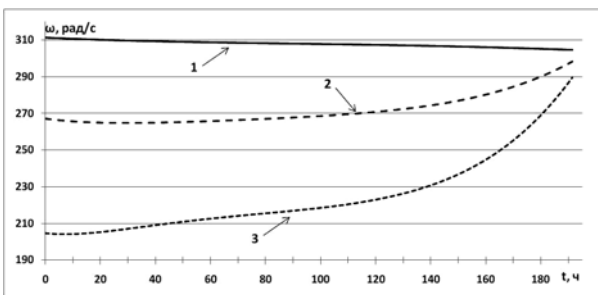


Рисунок 5 - Графики изменения угловой скорости  $\omega$  насоса в течение расчетного периода

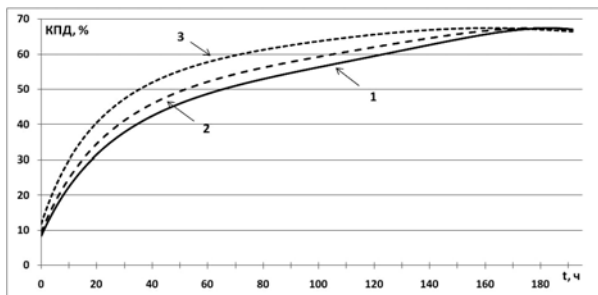


Рисунок 6 – Графики изменения КПД  $\eta_{нас}$  насоса в течение расчетного периода

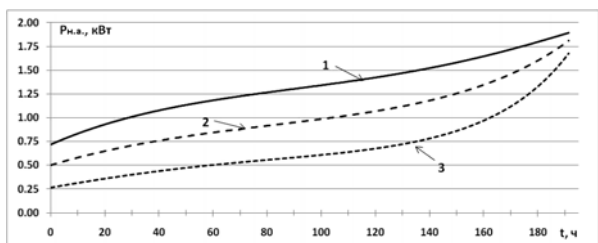


Рисунок 7 – Графики изменения потребляемой мощности насосным агрегатом  $P_{н.а.}$  в течение периода

Энергия  $W_{н.а.}$ , потребляемая насосным агрегатом, Вт·ч:

$$W_{н.а.} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{M \cdot \omega}{\eta_{нас} \cdot \eta_{ДВ}} dt, \quad (14)$$

где  $\eta_{ДВ}$  – КПД двигателя.

**Выводы.** Расчёты показали, что регулируемый насосный агрегат с поддержанием постоянного напора в начале сети  $H = const$  потребляет 195,6 кВт·ч электроэнергии за расчетный период, что на 23 % меньше чем нерегулируемый (254,4 кВт·ч), а регулируемый агрегат с поддержанием постоянного напора в диктующей точке  $H_{CB} = const$  – на 49 % ниже (130,2 кВт·ч). Применение насосной станции позволяет избавиться от тех недостатков, которыми обладают водонапорные башни. Современное развитие регулируемого электропривода позволяет достичь существенной экономии электроэнергии по сравнению с нерегулируемым электроприводом, особенно при регулировании насоса с поддержанием постоянного напора в диктующей точке  $H_{CB} = const$ . Также, при снижении частоты вращения на каждые 500 об/мин увеличивается ресурс насосного агрегата на 10-20 % [4].

#### Список использованных источников

1. Онищенко Г. Б. Электропривод турбомеханизмов / Г. Б. Онищенко, М. Г. Юньков – М.: Энергия, 1972. – 240 с.
2. Лезнов Б. С. Характеристики разветвленных трубопроводов с промежуточными отборами воды // Водоснабжение и санитарная техника. - 2007. - №12.
3. Булгаков А. А. Частотное управление асинхронными двигателями / А. А. Булгаков – М.: Энергоиздат, 1982.
4. Экономичное оборудование для ЖКХ // Энергосбережение. - 2007. - №1.

#### Анотація

### ЗАСТОСУВАННЯ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОГО АГРЕГАТУ У СИСТЕМІ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТВАРИНИЦЬКОГО КОМПЛЕКСУ

Малайчук Л. М., Федосов І. В.

У даній статті розглянуто питання доцільності заміни водонапірних башт безнапірними резервуарами з насосними станціями другого підйому. А також економічність регульованого насосного агрегату в системі сільськогосподарського водопостачання.

#### Abstract

### USE OF CONTROLLED ELECTRIC DRIVE OF THE PUMPING UNIT AT WATER SUPPLY SYSTEMS OF LIVESTOCK FARMS

L. Malaichuk, I. Fedosov

In this article the question was discussed about feasibility of replacing water towers by reservoirs with pumping stations of the second rise. And also the economy of controlled pump machine at agricultural water supply systems.