

Шаехов Арсен Рустамович, магистрант,  
ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, Уфа

Линенко Андрей Владимирович,  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, Уфа

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ  
ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА  
ENERGY EFFICIENCY OF THE INTRODUCTION  
OF A FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC PUMP DRIVE**

**Аннотация:** в данной статье рассматривается эффективность внедрения частотно-регулируемого электропривода насоса.

**Abstract:** This article discusses the effectiveness of the introduction of a frequency-controlled electric pump drive.

**Ключевые слова:** частотно-регулируемый привод, насосная станция, насосный агрегат, частотный преобразователь.

**Keywords:** variable frequency drive, pumping station, pumping unit, frequency converter.

Для определения энергетической эффективности внедрения сопоставим энергозатраты в отопительном сезоне электропривода насоса с направляющим аппаратом и с предлагаемым к внедрению частотно-регулируемым электроприводом. При этом будем считать, что в начале отопительного сезона насос загружен на 50 % производительности. Большую часть сезона работает при загрузке 85 % и только в середине зимы в наиболее холодное время загружен на 100 %. Как показал обзор многочисленной информации в сети Internet по результатам внедрения частотно-регулируемого электропривода на объектах жилищно-коммунального хозяйства, такой график вполне допустимо принять в качестве расчётного [2].

Для проведения такого исследования определим производительности насоса, соответствующие 50, 85 и 100 процентной производительности насоса. Номинальная мощность используемого двигателя малого насоса составляет  $P_H = 37$  кВт. Тогда мощность, потребляемая насосным агрегатом, составит:

$$N = P_H \cdot \eta_{ХЧ}, \quad (1)$$

где  $\eta_{ХЧ}$  – КПД ходовой части насосного агрегата.

$$N = 37 \cdot 0,99 = 36,63 \text{ кВт.}$$

По зависимости мощности потребляемой насосом, от его производительности  $N(Q)$  при регулировании направляющим аппаратом находим  $N_{IHA} = 36,63$  кВт, и соответствующую производительность  $Q_1 = 28,7 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Этому случаю соответствует закрытие направляющего аппарата на  $0^\circ$ ,  $\Theta_{HA} = 0^\circ$ .

Для определения различных рабочих точек при регулировании производительности насоса необходимо знать характеристику водопроводной сети. Характеристика сети при работе насосного агрегата на сеть без противодействия определяется формулой  $R_V = aQ^2$ .



По аэродинамическим характеристикам (зависимости полного давления насоса от его производительности  $R_V(Q)$ ) при  $\Theta_{\text{НА}} = 0^\circ$  и  $Q_1 = 28,7 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$  находим  $R_{V1} = 2810 \text{ Па}$ . Это определяет рабочую точку  $A_1$ , соответствующую полной загрузке двигателя. Тогда коэффициент  $a$ , определяющий характеристику сети, определим из выражения

$$a = \frac{R_{V1}}{Q_1^2}. \quad (2)$$

$$a = \frac{2810}{(28,7 \cdot 10^3)^2} = 3,41 \cdot 10^{-6}.$$

Характеристика сети приведена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика водопроводной сети

$R_V, \text{Па}$	344	775	1310	1980	2810	3380
$Q, \text{тыс. м}^3/\text{ч}$	8,7	13,7	18,7	23,7	28,7	33,7

При 85% – ной загрузке насоса:

$$Q_2 = 0,85 \cdot Q_1 = 0,85 \cdot 28,7 \cdot 10^3 = 24395 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

На пересечении характеристики сети и зависимости  $R_V(Q)$  при  $\Theta_{\text{НА}} = 51^\circ$  находим рабочую точку  $A_2$ , в которой  $Q_2 = 24395 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $R_{V2} = 2150 \text{ Па}$ .

В этом случае мощность, потребляемая насосом при регулировании производительности направляющим аппаратом, будет равна

$$N_{2\text{НА}} = \frac{R_{V2} \cdot Q_2}{3600 \cdot \eta}, \quad (3)$$

где  $\eta = 0,6$  – значение КПД насоса для точки  $A_2$ , определенное по динамическим характеристикам.

$$N_{2\text{НА}} = \frac{2150 \cdot 24395}{3600 \cdot 0,6} = 24,41 \text{ кВт}.$$

При обеспечении 50%-ной производительности:

$$Q_3 = 0,5 \cdot Q_1 = 0,5 \cdot 28,7 \cdot 10^3 = 14,35 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Этому значению соответствует точка  $A_3$ , в которой  $R_{V3} = 800 \text{ Па}$ . Мощность, потребляемая насосом при регулировании производительности направляющим аппаратом, в этом случае будет равна:

$$N_{3\text{НА}} = \frac{R_{V3} \cdot Q_3}{3600 \cdot \eta}, \quad (4)$$



где  $\eta = 0,37$  – значение КПД насоса для точки  $A_3$  [1].

$$N_{3НА} = \frac{800 \cdot 14,35 \cdot 10^3}{3600 \cdot 0,37} = 8,62 \text{ кВт.}$$

Рассчитаем мощность, потребляемую насосом, при частотном регулировании. Для этого воспользуемся следующими формулами соответствия [3].

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}, \frac{N_1}{N_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3}. \quad (5)$$

Для обеспечения  $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{28,7 \cdot 10^3}{24395} = 1,18$  необходимо уменьшить частоту вращения в 1,18 раза.

Тогда при частотном регулировании

$$N_{2ЧРП} = \frac{N_1 n_2^3}{n_1^3} = \frac{N_1}{1,18^3}. \quad (6)$$

$$N_{2ЧРП} = \frac{37}{1,18^3} = 22,52 \text{ кВт.}$$

Для обеспечения  $Q_3 = 14,35 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$  необходимо уменьшить частоту вращения двигателя в соотношении  $\frac{n_1}{n_3} = \frac{Q_1}{Q_3} = \frac{28,7 \cdot 10^3}{14,35 \cdot 10^3} = 2$ , тогда  $\frac{N_1}{N_3} = 2^3 = 8$ , откуда

$$N_{3ЧРП} = N_1 / 8 = 37 / 8 = 4,625 \text{ кВт.}$$

Рассчитаем мощность электроэнергии  $P_{ДВ}$ , потребляемую из сети двигателем насоса, при регулировании производительности направляющим аппаратом и изменением частоты вращения двигателя [4].

$$P_{ДВ} = \frac{N}{\eta_D}, \quad (7)$$

где  $N$  – мощность, потребляемая насосом при любом способе регулирования,  $\eta_D$  – КПД двигателя.

Значение  $\eta_D$  зависят от загрузки двигателя относительно его номинальной мощности  $N / P_H$ . Воспользовавшись зависимостью  $\eta_D(N / P_H)$  получим значения потребляемой из сети мощности, которые сведены в таблицы 2 и 3.

Таблица 2

Расчет энергопотребления при регулировании производительности насоса осевым направляющим аппаратом

$N_{НА}, \text{кВт}$	8,62	24,41	37
$\frac{N_{НА}}{P_H}$	0,24	0,67	1



$\eta_D$	0,91	0,92	0,923
$P_{ДВ}, \text{кВт}$	13	31	45

Таблица 3

Расчет энергопотребления при регулировании производительности насоса  
 регулированием частоты вращения двигателя

$N_{ЧРП}, \text{кВт}$	4,62	22,52	37
$\frac{N_{ЧРП}}{P_H}$	0,13	0,61	1
$\eta_D$	0,91	0,92	0,923
$P_{ДВ}, \text{кВт}$	5,1	24,5	40,1

Таблица 4

Расход электроэнергии при регулировании производительности  
 направляющим аппаратом

Месяц	Ноябрь	Декабрь	Январь		Февраль		Март	Апрель
Число часов	720	720	360	360	360	360	720	720
$P_{ДВ}, \text{кВт}$	13	31	31	45	45	31	31	13
$W, \text{кВт} \cdot \text{ч}$	9360	22320	11160	16200	16200	11160	22320	9360
$W_{НА}, \text{кВт} \cdot \text{ч}$	118080							

Таблица 5

Расход электроэнергии при регулировании производительности  
 изменением частоты вращения привода

Месяц	Ноябрь	Декабрь	Январь		Февраль		Март	Апрель
Число часов	720	720	360	360	360	360	720	720
$P_{ДВ}, \text{кВт}$	5,1	24,5	24,5	40,1	40,1	24,5	24,5	5,1
$W, \text{кВт} \cdot \text{ч}$	3672	17640	8820	14436	14436	8820	17640	3672
$W_{ЧРП}, \text{кВт} \cdot \text{ч}$	89136							

На основании полученных данных построим диаграмму потребления электроэнергии электроприводом насоса, данные для которой сведены в таблице 4 и 5. Графическое представление потребления электроэнергии приведено на рисунке 1.



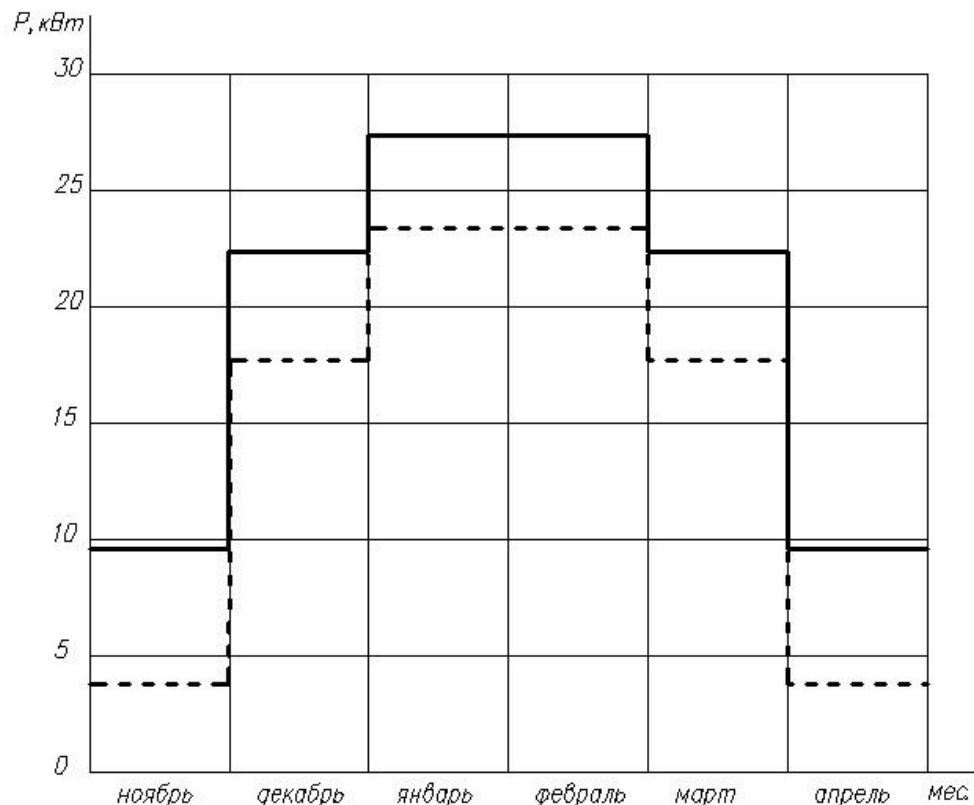


Рисунок 1 – Зависимость потребляемой двигателем мощности от времени при регулировании направляющим аппаратом (—) и при частотном регулировании (- - -)

Из анализа полученных результатов и сопоставления расхода электроэнергии видно, что  $W_{\text{ЧРП}} = 0,746 \cdot W_{\text{НА}}$ , внедрение частотно-регулируемого электропривода насоса для насосной станции по водоснабжению позволит уменьшить потребление электроэнергии на 25,4 %.

*Список литературы:*

1. Волошенко, А.В. Проектирование функциональных схем систем автоматического контроля и регулирования / А.В. Волошенко, Д.В. Горбунов. Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2008. – 320 с.
2. Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения. – Москва: Издательство Госстроя России, 2003. – 190 с.
3. Попович, Н. Г. Теория электропривода/ Н. Г. Попович, Н. Г. Борисюк и др. – Москва: Высшая школа, 1993. – 494 с.
4. Сербин, Ю. В. Параллельная работа насосных агрегатов при использовании технологии частотного регулирования/ Ю. В. Сербин, А.А. Прокопов, В.П. Бугров//Информационный бюллетень. ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР "АРТ". – 2007. – №2.

