

УДК 628.12; 628.14; 628.17

М.Д. ЧЕРНОСВИТОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный архитектурно-строительный университет

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕГРАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ПОВЫСИТЕЛЬНЫХ НАСОСОВ

ENERGY EFFICIENCY OF INTEGRATED MANAGEMENT OF WORK BOOSTER PUMP

Представлены теоретические выкладки, исходные данные, графики, результаты расчета и выводы по снижению энергопотребления при использовании интегрального регулирования работы существующей повысительной насосной станции в сравнении с нерегулируемой работой и работой при стабилизации давления на выходе из насосной станции.

Ключевые слова: насосная станция, регулирование работы насосов, энергетическая эффективность.

На основе выполненных исследований по изучению работы повысительных насосных станций, динамики водопотребления и размера удельного водопотребления установлено, в том числе, что применение преобразователей частоты тока не дает значительного снижения электропотребления [1]. Это вызвано тем, что установленные насосы имеют полную напорно-расходную характеристику, а требуемый напор близок к напору насоса при номинальной частоте вращения рабочего колеса.

При интегральном регулировании работы повысительных насосов, когда величина поддерживаемого давления на выходе из насосной станции зависит от расхода воды, обеспечивается большая экономия электроэнергии, чем при стабилизации давления на выходе насосной станции [2]. Помимо этого, за счет снижения давления на выходе из насосной станции и стабилизации непосредственно у потребителей, повышается комфортность пользования и снижаются нерациональное водопотребление и утечки воды. Также повышается надежность системы как за счет снижения давления, так и за счет его повышения в случае, когда фактический расход превышает расчетный.

Эффективность интегрального регулирования работы повысительных насосов, приведенная в [2], представляет собой теоретическое снижение потребляемой мощности, затрачиваемой на перекачку жидкости, без учета коэффициента полезного действия (КПД) насосного агрегата.

The theoretical calculations, the raw data, graphs, calculation results and conclusions to reduce energy consumption by using integral control of the existing booster pump station versus unregulated work and that the stabilization of the output pressure of the pump station.

Keywords: pump station, control of pumps, energy efficiency.

Мощность при этом определяется как

$$N = 0,0027 \cdot Q \cdot H, \text{ кВт},$$

где Q – расход перекачиваемой воды, м³/ч;

H – приращение давления (напор насоса), м вод. ст.

Для рассматриваемой действующей повысительной насосной станции № 16 г. Самары, обеспечивающей водой четыре 9- и семь 12-этажных дома, эффективность составила 55,3 % по сравнению с нерегулируемой работой и 33,5 % по сравнению со стабилизацией давления.

Используя данные натурных замеров параметров работы данной станции (представлены на рис. 1 и 2) и закон пропорциональности работы насоса, определим энергетическую эффективность интегрального регулирования работы повысительных насосов.

Рассмотрим три варианта.

Вариант 1. Насос работает без регулирования (напор насоса определяется его рабочей характеристикой).

Вариант 2. Предусмотрена стабилизация напора на выходе из насосной станции (напор насоса определяется разницей требуемого давления на выходе из насосной станции и располагаемого давления на вводе). Значение напора, развиваемого насосом:

$$H = 70 - H_{\text{вх}}, \text{ м вод. ст.} \quad (1)$$

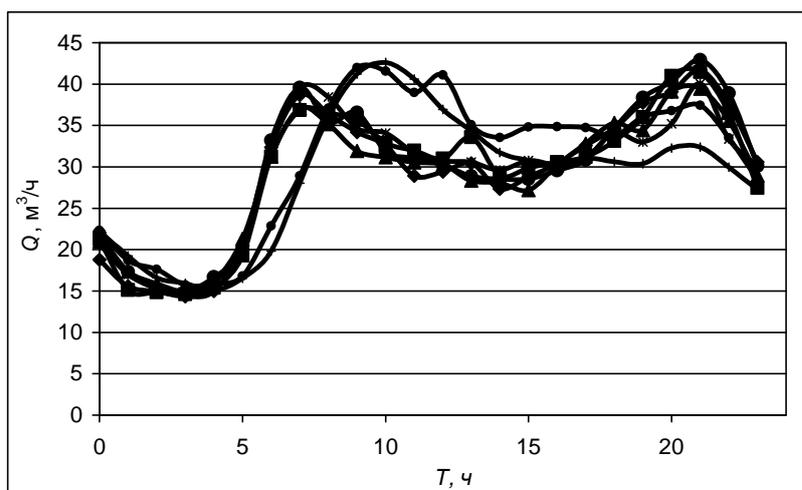


Рис. 1. График изменения подачи насосной станции в течение недели

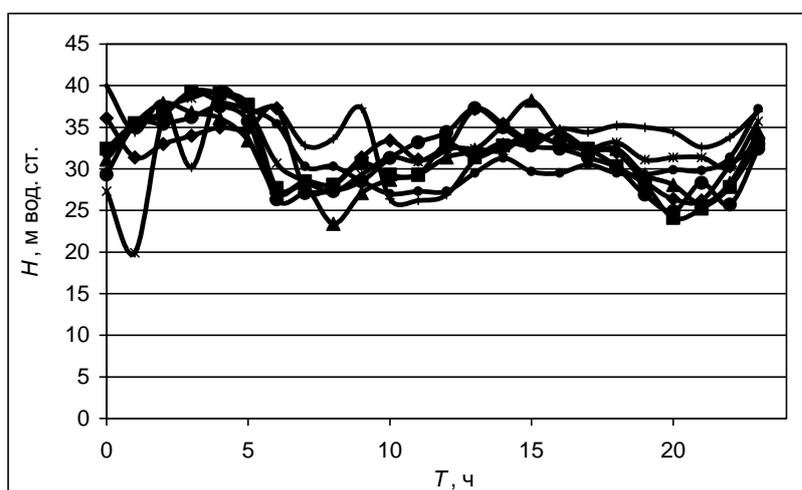


Рис. 2. График изменения давления на вводе насосной станции

Вариант 3. Предусмотрено интегральное регулирование работы насосной станции (напор насоса определяется разницей требуемого давления на выходе из насосной станции, которое в свою очередь зависит от расхода и описывается кривой пропорциональности, и располагаемого давления на вводе). Кривая пропорциональности имеет вид [2]:

$$H = 43 + 0,0133 \cdot Q^2, \text{ м.}$$

Напор насоса описывается уравнением

$$H = 43 + 0,0133 \cdot Q^2 - H_{\text{вх}} \text{ м вод. ст.} \quad (2)$$

С учетом КПД потребляемая мощность насосного агрегата определяется как:

$$N = 0,0027 \cdot Q \cdot H / \eta, \text{ кВт,}$$

где η – КПД насосного агрегата (в долях единицы) при частоте вращения рабочего колеса n , мин^{-1} , обе-

спечивающей приращение давления H , м вод. ст., при данном расходе Q , $\text{м}^3/\text{ч}$.

Потребляемая электроэнергия при изменяющихся параметрах работы насоса за период времени определяется как

$$\mathcal{E} = \int N \cdot T \, dT, \text{ кВт}\cdot\text{ч,}$$

где T – время, ч.

Поскольку замеры производились ежечасно и параметры в течение часа условно считаются постоянными (дискретными), потребляемая электроэнергия определяется суммированием мощности за рассматриваемый период:

$$\mathcal{E} = \sum 0,0027 \cdot Q \cdot H / \eta, \text{ кВт}\cdot\text{ч.} \quad (3)$$

Подача воды потребителям круглосуточно обеспечивается одним насосом КМ 100-65-200а. Анали-

тическое описание зависимости напора H от расхода Q (в $\text{м}^3/\text{ч}$) имеет вид:

$$H = -0,002 \cdot Q^2 + 0,1449 \cdot Q + 54,975, \text{ м вод. ст.} \quad (4)$$

Аналитическое описание зависимости КПД от расхода Q ($\text{м}^3/\text{ч}$) имеет вид:

$$\eta = -0,000061 \cdot Q^2 + 0,0126 \cdot Q. \quad (5)$$

Для определения КПД насосного агрегата при разных сочетаниях расхода-напора, которые обеспечиваются изменением частоты вращения рабочего колеса насоса n , воспользуемся законом пропорциональности:

$$\begin{aligned} Q/Q_1 &= n/n_1, \\ H/H_1 &= (n/n_1)^2, \end{aligned}$$

где Q и Q_1 - расходы; H и H_1 - напоры при частотах n и n_1 соответственно.

Парабола подобных режимов (линия постоянного КПД) имеет вид:

$$H = H_1 \cdot Q^2 / Q_1^2. \quad (6)$$

Вариант 1. В формуле (3) расход определяется режимом водопотребления, напор – по уравнению (4), КПД – по уравнению (5).

Вариант 2. В формуле (3) расход определяется режимом водопотребления, напор – по уравнению (1), а КПД рассчитывается по формуле (5), в которую подставляется расход подобного режима при номинальной частоте вращения рабочего колеса, определенный по расходу, напору и формулам (4) и (5).

Вариант 3. В формуле (3) расход определяется режимом водопотребления, напор – по уравнению (2), а КПД рассчитывается по формуле (5), в которую подставляется расход подобного режима при номи-

нальной частоте вращения рабочего колеса, определенный по расходу, напору и формулам (4) и (6).

Пример определения расчетного напора и КПД для часа 8-9 понедельника проиллюстрирован на рис. 3. В этот час подача насосной станции составила $37,08 \text{ м}^3/\text{ч}$, напор на вводе насосной станции – $27,9 \text{ м вод. ст.}$

Вариант 1:

расход $Q_1 = 37,08 \text{ м}^3/\text{ч}$;
напор $H_1 = -0,002 \cdot 37,08^2 + 0,1449 \cdot 37,08 + 54,975 = 57,6 \text{ м вод. ст.}$;

КПД $\eta_1 = -0,000061 \cdot 37,08^2 + 0,0126 \cdot 37,08 = 0,38$;

мощность в этот час

$N_1 = 0,0027 \cdot 37,08 \cdot 57,6 / 0,38 = 15,04 \text{ кВт.}$

Вариант 2:

расход $Q_2 = 37,08 \text{ м}^3/\text{ч}$;
напор $H_2 = 70 - 27,9 = 42,1 \text{ м вод. ст.}$

Приравнивая правые части формул (4) и (6) и подставляя Q_2 и H_2 , определяем расход подобного режима работы насоса при номинальной частоте вращения рабочего колеса, т.е. пересечение кривой постоянного КПД, проходящей через точку с координатами Q_2 и H_2 , и напорно-расходной характеристики насоса при номинальной частоте вращения рабочего колеса (точка А):

$-0,002 \cdot Q_A^2 + 0,1449 \cdot Q_A + 54,975 = 42,1 \cdot Q_A^2 / 37,08^2$,

$Q_A = 43,33 \text{ м}^3/\text{ч}$;

КПД $\eta_2 = -0,000061 \cdot 43,33^2 + 0,0126 \cdot 43,33 = 0,43$;

мощность в этот час

$N_2 = 0,0027 \cdot 37,08 \cdot 42,1 / 0,43 = 9,77 \text{ кВт.}$

Вариант 3:

расход $Q_3 = 37,08 \text{ м}^3/\text{ч}$;

напор $H_3 = 43 + 0,0133 \cdot 37,08^2 - 27,9 = 33,39 \text{ м вод. ст.}$

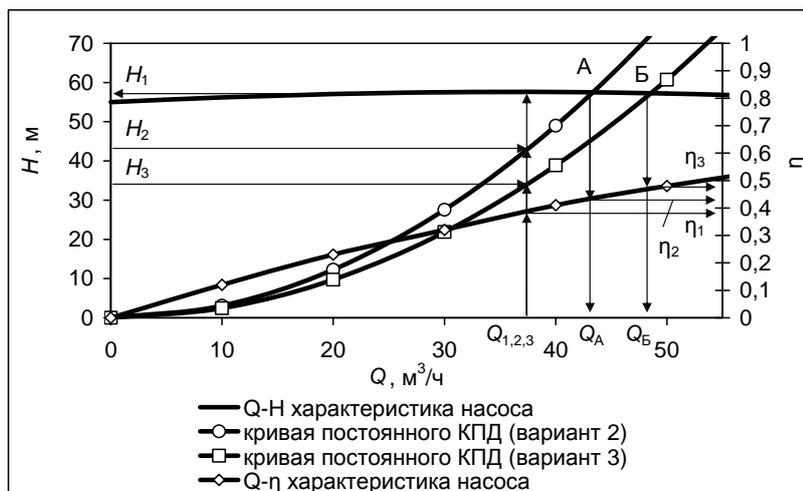


Рис. 3. Определение расчетных параметров работы насосной станции

Таблица 1

Сравнение методов регулирования работы насосов

Вариант	1	2	3	
Напор, развиваемый насосами (средний за неделю), H , м вод. ст.	57,4	37,9	23,4	
Напор на выходе насосной станции (средний за неделю), H , м вод. ст.	89,4	70,0	55,4	
Расход энергии без учета КПД (за неделю) \mathcal{E} , кВт·ч	768,3	516,9	343,5	
КПД насосного агрегата (средний за неделю) η , %	31	37	45	
Расход энергии с учетом КПД (за неделю) \mathcal{E} , кВт·ч	2414,9	1359,2	379,5	
Снижение потребления электроэнергии по отношению к первому варианту (за неделю) $\Delta\mathcal{E}$	кВт·ч	-	1055,7	1675,4
	%	-	43,7	69,4
Снижение потребления электроэнергии по отношению ко второму варианту (за неделю) $\Delta\mathcal{E}$	кВт·ч	-	-	619,6
	%	-	-	45,6

Аналогично варианту 2 определяется расход подобного режима работы насоса при номинальной частоте вращения рабочего колеса (точка Б):

$$-0,002 \cdot Q_B^2 + 0,1449 \cdot Q_B + 54,975 = 33,39 \cdot Q_B^2 / 37,08^2, \\ Q_B = 48,57 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\text{КПД } \eta_3 = -0,000061 \cdot 48,57^2 + 0,0126 \cdot 48,57 = 0,47;$$

$$\text{мощность в этот час } N_3 = 0,0027 \cdot 37,08 \cdot 33,39 / 0,47 = 7,14 \text{ кВт.}$$

Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таким образом, с учетом изменения коэффициента полезного действия работы насосного агрегата, рассчитанная энергетическая эффективность интегрального регулирования для существующей повысительной насосной станции за рассматриваемый период (неделю) составляет 69,4 % по сравнению с нерегулируемой работой и 45,6 % по сравнению со стабилизацией давления на выходе. Уменьшение энергопотребления происходит за счет одновременного снижения требуемого напора, развиваемого насосом, и повышения его коэффициента полезного действия. Внедрение интегрального регулирования работы повысительных насосов при наличии частотного регулирования и расходомера является высокоэффективным и малозатратным мероприятием снижения расхода энергетических и сырьевых ресурсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кирсанов, А.А. Исследование работы внутриваргальных подкачивающих насосных станций [Текст] / А.А. Кирсанов, В.Н. Колчев, В.В. Шмиголь, М.Д. Черносвитов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – № 9, ч. 2. – С. 30-33.
2. Шмиголь, В.В. Интегральное регулирование работы повысительных насосов [Текст] / В.В. Шмиголь, М.Д. Черносвитов, Н.А. Атанов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 8. – С. 23-27.

© Черносвитов М.Д., 2013