

2013 год было сэкономлено 6,1517 тыс. тонн условного топлива.

В условиях существующего финансового состояния предприятий водопроводно-канализационного хозяйства реализация мероприятий Программ позволила сдерживать рост затрат предприятия на энергоносители при условии постоянного роста тарифов (тариф на электроэнергию за последние 5 лет вырос более чем на 39%, за 8 месяцев 2014 года – более чем на 8%).

На работу водопровода сказывается также физический и моральный износ основных фондов (техники, оборудования, трубопроводов), который на нашем предприятии составляет 69,2%.

Только техническое переоснащение предприятий отрасли и переход на современные эффективные технологии при обеспечении мер по энергосбережению сделают коммунальный комплекс страны эффективно работающей системой, значительно снизив непроизводительные потери и повысив рентабельность ЖКХ и, в частности, водопроводно-канализационного хозяйства.

Только при этих условиях снизятся затраты на производство услуг и повысится их качество.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Про Загальнодержавну програму реформування і розвитку житлово-комунального господарства на 2009-2014 роки: закон України від 11 червня 2009 року №1511-VI// Відомості Верховної Ради України. – 2009. - №46. – 512 с.
2. Комплексная программа энергосбережения КП «Харьковводоканал» на 2012, 2013 – 2016 гг. и на перспективу до 2026 года – 2012.
3. Програма розвитку КП «Харківводоканал» до 2026 року. – 2014.
4. Стандарт житлово-комунального господарства України «Енергозбереження. Служба енергоменеджменту підприємств житлово-комунального господарства. Загальні вимоги» чинний від 01.01.2008 р. Затверджений наказом №68 Міністерства з питань житлово-комунального господарства України 19.03.2008 року.
5. Материалы TACIS, EBPP, USAID.

УДК 628.12

Тевяшев А.Д., Матвиенко О.И.,

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Никитенко Г.В.

Коммунальное предприятие «Харьковводоканал»

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГО И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В настоящее время проблемы энерго и ресурсосбережения в системах централизованного водоснабжения стала особенно актуальны. На перекачку воды насосными агрегатами (НА) расходуется огромное количество электроэнергии. Стоимость электроэнергии в общей сумме эксплуатационных расходов на водопроводных предприятиях составляет 40 – 50% [1, 2]. Поэтому важной является разработка экономичных режимов

работы насосной станции (НС), позволяющих экономить энергетические и материальные ресурсы.

На НС для перекачки воды используется несколько однотипных или разнотипных параллельно подключённых НА. Количество одновременно работающих на общую сеть НА может быть различным, в зависимости от требуемого режима работы НС. Управлять работой НС, т.е. регулировать в определенных диапазонах давление и

расход воды, можно с помощью регулирующей задвижки (РЗ) на выходе НА или изменением скорости вращения вала НА, если НА оснащён регулируемым приводом [3, 4]. Экономически целесообразным для НС является применение одного НА с регулируемым приводом в то время как управление работой остальных НА осуществляется с помощью РЗ.

Большинство НС в системах водоснабжения городов Украины не оборудованы регулируемым приводом, а в качестве оперативного управления режимами работы НС используется традиционное включение/выключение НА и изменение положения регулируемых задвижек.

Цель данной работы – оценить потенциал энергосбережения на НС при переходе от регулирования путём включение/выключение НА и изменения положения регулируемых задвижек к регулированию с помощью изменения скорости вращения вала НА.

В работе [5] была предложена стратегия оперативного планирования режимов работы НС с упреждением в одни сутки на основе стохастической модели квазистационарных режимов работы НС, использование которой позволяет:

- а) минимизировать математическое ожидание энергозатрат НС на интервале планирования (сутки);
- б) получить оптимальное решение, устойчивое к прогнозируемому уровню стохастических возмущений по расходу и напору на выходе НС с вероятностью не ниже заданной;
- в) минимизировать количество переключений НА.

В данной работе эта стратегия применяется для планирования режимов работы НС, состоящей из трёх параллельно подключённых НА, в которой:

- 1) все НА регулируются с помощью РЗ;

$$M_{\omega} \left(h_r(q_r(\omega)) + \sum_{i \in L} b_{1ri} h_{NAi}(q_i(\omega)) + \sum_{i \in R} b_{1ri} h_{RZi}(q_i(\omega)) + \sum_{i \in M} b_{1ri} h_i(q_i(\omega)) \right) = 0, \\ (r = v, \dots, v + \eta_2 - 1).$$

(1)

- 2) один НА (НА3) оборудован регулируемым приводом, работа НА1 и НА2 регулируется с помощью РЗ;

- 3) все НА оборудованы регулируемым приводом.

Стохастическая модель квазистационарных режимов работы НС

В работе [6] было показано, что для решения задач оперативного планирования режимов работы централизованных систем холодного водоснабжения более адекватными являются стохастические модели квазистационарных режимов работы этих систем на заданном интервале времени $[0, T]$, учитывающие как стохастический характер процессов потребления воды, так и статистические свойства параметров модели. Рассмотрим стохастическую модель квазистационарных режимов работы НС.

Для представления структуры НС в виде орграфа $G(V, E)$, где V – множество вершин, E – множество дуг ($e = \text{Card}(E)$, $v = \text{Card}(V)$), реальная НС добавляется нулевой вершиной и фиктивными хордами, соединяющими нулевую вершину с входом и выходом НС [7, 8]. Для математической формулировки задачи производят следующее кодирование НС: каждая ветвь дерева графа содержит один НА, одну (или ни одной) РЗ (регулируемую задвижку) и пассивные участки, соединяющие НА и РЗ с входом и выходом НС. Вершинами графа НС являются точки соединения 2-х и более элементов НС.

Множество E дуг графа сети НС можно представить как $E = L \cup M \cup K \cup R$, где L – множество дуг графа сети, соответствующих участкам с НА; M – множество дуг графа сети, соответствующих пассивным участкам; K – множество фиктивных участков сети, R – множество дуг графа сети, соответствующих регулируемым задвижкам (РЗ). Для этих обозначений стохастическая модель квазистационарных режимов работы НС (все НА регулируются с помощью РЗ) принимает вид:

$$\mathbf{M}_{\omega} \left(h_{vih}(\omega) - h_{vh} + h_{NAr}(q_r(\omega)) + h_{NAr}^{(g)} + h_{RZr}(q_r(\omega)) + h_{RZr}^{(g)} + \sum_{i \in M} b_{1ri}(h_i(q_i(\omega)) + h_i^{(g)}) \right) = 0, \quad r = (1, \dots, n). \quad (2)$$

$$M(q_i(\omega)) = \mathbf{M}_{\omega} \left(\sum_{r=v}^e b_{1ri} q_r(\omega) \right), \quad (i = 1, \dots, v-1), \quad (3)$$

$$q_i(\omega) > 0, \quad i \in M. \quad (4)$$

$$h_i(q_i(\omega)) = \text{sgn } q_i(\omega) S_i(\omega) q_i^2(\omega), \quad \bar{S}_i = 0,001736 \frac{l_i}{d_i^{5,3}}, \quad i \in M, \quad (5)$$

$$h_{RZi}(q_i(\omega)) = \frac{q_i(\omega) C_i(\omega)}{E_i^2}, \quad i \in R, \quad (6)$$

$$h_{NAi}(q_i(\omega)) = a_{0i}(\omega) + a_{1i}(\omega) q_i(\omega) + a_{2i}(\omega) q_i^2(\omega), \quad i \in L, \quad (7)$$

$$\eta(q_i(\omega)) = d_0(\omega) + d_1(\omega) q_i(\omega) + d_2(\omega) q_i^2(\omega), \quad i \in L, \quad (8)$$

где $q_i(\omega)$ - случайные величины, характеризующие расход воды на i -м участке трубопровода; $S_i(\omega)$ - случайные величины, характеризующие гидравлическое сопротивление i -го участка трубопровода ($i \in M$); $h_{vih}(\omega)$ - случайная величина, характеризующая напор на выходе НС, h_{NAi} - напор i -го НА, h_{RZi} - падение напора на i -ой РЗ; η_i - КПД i -го НА; h_{vh} - напор на входе в НС; E_i - степень открытия РЗ ($E \in (0,1)$); $l_i, d_i, h_i^{(g)}$ - длина, диаметр и геодезическая отметка i -го участка трубопровода ($i \in M$), b_{1ri} - элемент

цикломатической матрицы; $a_{0i}, a_{1i}, a_{2i}, d_{0i}, d_{1i}, d_{2i}$ - параметры НА ($i \in L$); C_i - параметры РЗ ($i \in R$); $\mathbf{M}_{\omega}\{\cdot\}$ - математическое ожидание случайной величины $\{\cdot\}$; $\omega \in \Omega: (\Omega, B, P)$ вероятностное пространство, где Ω - пространство элементарных событий, B - σ -алгебра событий из Ω , P - вероятностная мера на B .

Если НА оснащены регулируемым приводом, в стохастической модели квазистационарных режимов работы НС вместо моделей НА (7) и (8) используются модели НА (9), (10) и $R = \emptyset$:

$$h_{NAi}(q_i(\omega)) = a_{0i}(\omega) \left(\frac{n_{1i}}{n_{0i}} \right)^2 + a_{1i}(\omega) q_i(\omega) \frac{n_{1i}}{n_{0i}} + a_{2i}(\omega) q_i^2(\omega), \quad i \in L, \quad (9)$$

$$\eta(q_i(\omega)) = 1 - \frac{1 - d_0(\omega) - d_1(\omega) q_i(\omega) - d_2(\omega) q_i^2(\omega)}{\left(\frac{n_{0i}}{n_{1i}} \right)^{0,36}}, \quad i \in L, \quad (10)$$

где n_1, n_0 - номинальная и рабочая частоты вращения (об/мин) ротора приводного электродвигателя.

Математическая постановка задачи оперативного планирования режима работы НС.

Исходными данными для задачи оперативного планирования режимов работы НС являются прогнозируемые в виде оценок условных математических ожиданий и дисперсий значения расхода $\hat{q}_k, \hat{\sigma}_{q_k}^2$ и напора

$\hat{h}_k, \hat{\sigma}_{h_k}^2$ на выходе НС для каждого подинтервала времени k : $k=1$ соответствует интервал $[t_1, t_2]$ - режим минимального водопотребления, $k=2$ соответствует интервал $[t_2, t_3]$ - переход с минимального на максимальный режим водопотребления, $k=3$ соответствует интервал $[t_3, t_4]$ - режим максимального водопотребления, $k=4$ соответствует интервал $[t_4, t_5]$ - переход с максимального на минимальный режим водопотребления. Также исходными данными являются значение

уровня воды в приёмном резервуаре НС; параметры трубопроводов обвязки НС (длина, диаметр, геодезическая отметка), оценки параметров НА ($\bar{a}_0, \bar{a}_1, \bar{a}_2, \bar{c}_0, \bar{c}_1, \bar{c}_2, \bar{d}_0, \bar{d}_1, \bar{d}_2$), оценки эквивалентных гидравлических сопротивлений полностью открытых РЗ (\bar{C}).

На содержательном уровне задача оперативного планирования режима работы НС на интервале времени $[t_i, t_j]$ заключается в следующем:

1) определение такого состава работающих НА на каждом подинтервале времени $k=1,2,3,4$, при котором с вероятностью близкой к единице обеспечивается нахождение рабочей точки НС в области допустимых режимов НС, определяемых условиями

$$\bar{q}_k \pm 3\sigma_{q_k}, \bar{h}_k \pm 3\sigma_{h_k},$$

$$P(\bar{h}_k^+ \leq h_k(\omega) \leq \bar{h}_k^{++}) = 1, \quad (11)$$

где $\bar{h}_k^+, \bar{h}_k^{++}$ - минимальный и максимальный допустимый напор на выходе НС на интервале k .

$$F(\hat{q}_1, \hat{q}_2, \hat{q}_3, \hat{q}_4, \hat{h}_1, \hat{h}_2, \hat{h}_3, \hat{h}_4) = M_{\omega} \sum_{k=1}^4 \left(\sum_{i=1}^3 \frac{9,81 \cdot h_{NAi}(q_i(\omega)) \cdot q_i(\omega)}{\eta_{NAi}(q_i(\omega))} \right) \rightarrow \min_{S, E_i}, \quad (12)$$

где S – структура НС, т. е. состав работающих НА на НС; F – функция энергозатрат.

Заменяя в задаче (12) и в условиях (1) – (10) все случайные величины их математиче-

$$F(\hat{q}_1, \hat{q}_2, \hat{q}_3, \hat{q}_4, \hat{h}_1, \hat{h}_2, \hat{h}_3, \hat{h}_4) = \sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^3 \frac{9,81 \cdot \bar{h}_{NAi} \cdot \bar{q}_i}{\bar{\eta}_{NAi}} \rightarrow \min_{S, E_i}, \quad (13)$$

$$\bar{h}_r(\bar{q}_r) + \sum_{i \in L} b_{1ri} \bar{h}_{NAi}(\bar{q}_i) + \sum_{i \in R} b_{1ri} \bar{h}_{RZi}(\bar{q}_i) + \sum_{i \in M} b_{1ri} h_i(\bar{q}_i) = 0, \quad (r = v, \dots, v + \eta_2 - 1), \quad (14)$$

$$\bar{h}_{vih} - h_{vh} + \bar{h}_{NAr}(\bar{q}_r) + h_{NAr}^{(g)} + \bar{h}_{RZr}(\bar{q}_r) + h_{RZr}^{(g)} + \sum_{i \in M} b_{1ri} (\bar{h}_i(\bar{q}_i) + h_i^{(g)}) = 0, \quad r = (1, \dots, n), \quad (15)$$

$$\bar{q}_i = \sum_{r=v}^e b_{1ri} \bar{q}_r, \quad (i = 1, \dots, v - 1), \quad (16)$$

$$\bar{q}_i > 0, \quad i \in M, \quad (17)$$

$$\bar{h}_i(\bar{q}_i) = \text{sgn} \bar{q}_i \bar{S}_i \bar{q}_i^2, \quad i \in M, \quad (18)$$

$$\bar{h}_{RZi}(\bar{q}_i) = \frac{\bar{q}_i \bar{C}_i}{E_i^2}, \quad i \in R, \quad (19)$$

$$\bar{h}_{NAi}(\bar{q}_i) = \bar{a}_{0i} + \bar{a}_{1i} \bar{q}_i + \bar{a}_{2i} \bar{q}_i^2, \quad i \in L, \quad (20)$$

$$\bar{\eta}(\bar{q}_i) = \bar{d}_0 + \bar{d}_1 \bar{q}_i + \bar{d}_2 \bar{q}_i^2, \quad i \in L. \quad (21)$$

2) обеспечение на выходе НС планируемых на каждом подинтервале k значений расхода и напора воды;

3) НА должны работать с максимально возможным КПД ($\text{КПД} > \text{КПД}_{\text{мин}}$);

4) математическое ожидание энергозатрат должно быть минимальным.

Математическая постановка задачи оперативного планирования режимов работы НС с упреждением в 24 часа (одни сутки) представлена в виде одноэтапной задачи нелинейного стохастического программирования с решающими правилами нулевого порядка. Целевая функция задачи представлена в виде выражения (12), а ограничения – в виде уравнений математической модели квазистационарных режимов работы НС на заданном интервале времени $[0, T]$ (12) и условий (1) – (8), (11) при регулировании с помощью РЗ или условий (1) – (5), (9) – (11) при использовании регулируемого привода:

скими ожиданиями, получим детерминированный эквивалент задачи оперативного планирования режимов работы НС на сутки (13) – (21) при регулировании с помощью РЗ:

Детерминированный эквивалент задачи оперативного планирования режимов работы НС на сутки с использованием регулируемого привода (13) – (18), (22) – (23), $R = \emptyset$:

$$\bar{h}_{NAi}(\bar{q}_i) = \bar{a}_{0i} \left(\frac{n_{1i}}{n_{0i}} \right)^2 + \bar{a}_{1i} \bar{q}_i \frac{n_{1i}}{n_{0i}} + \bar{a}_{2i} \bar{q}_i^2, \quad i \in L, \quad (22)$$

$$\bar{\eta}(\bar{q}_i) = 1 - \frac{1 - \bar{d}_0 - \bar{d}_1 \bar{q}_i - \bar{d}_2 \bar{q}_i^2}{\left(\frac{n_{0i}}{n_{1i}} \right)^{0,36}}, \quad i \in L, \quad (23)$$

Будем решать задачу оперативного планирования режима работы НС на интервале времени $[t_1, t_2], [t_2, t_3], [t_3, t_4], [t_4, t_5]$. Оптимальные режимы работы НС на каждом интервале будем выбирать таким образом, чтобы количество переключений НА было минимальным.

В результате реализации стратегии, описанной в работе [5] находим для каждого интервала состав работающих НА, степень открытия РЗ для каждой ветви, расход по каждой ветви и энергозатраты НС.

Для каждого интервала времени k вычисляется значение потенциала энергосбережения, т.е. количество энергозатрат, которое можно сэкономить, если использовать в качестве управления НА не РЗ, а регулируемый привод.

$$\Delta F_k = \sum_{i=1}^3 \frac{9,81 \cdot \bar{q}_{NAik}}{\bar{\eta}_{NAik}} (\bar{h}_{NAik} - \bar{h}_{vihk}) \quad (24)$$

Результаты
Пример

Рассмотрим насосную станцию (рис. 1), состоящую из $n=3$ параллельно соединённых насосных агрегатов типа АД4000-95-2.

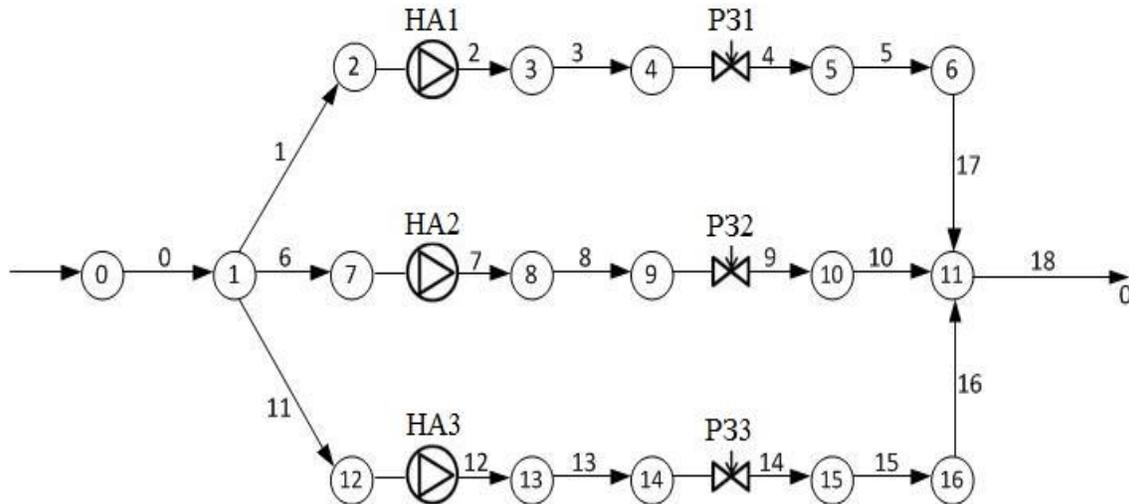


Рис. 1. Схема насосной станции

В табл. 1 приведены оценки коэффициентов аппроксимации характеристик НА. Аппроксимация коэффициентов $a_0, a_1, a_2, d_0, d_1, d_2$ производится на основании паспортных данных насосных агрегатов.

В табл. 2 приведены планируемые режимы насосной станции. В табл. 3 – 5 – результаты решения задачи оперативного планирования режимов работы насосной станции для различных способов регулирования работой НС.

Таблица 1 - Оценки коэффициентов аппроксимации характеристик насосных агрегатов

НА	a_0	a_1	a_2	d_0	d_1	d_2
НА1	108	-2,03524	-8,94861	0	147,0046	-61,030796
НА2	100	-2,03524	-8,94861	0	147,0046	-61,030796
НА3	95	-2,03524	-8,94861	0	147,0046	-61,030796

Таблица 2 - Планируемые режимы насосной станции

Параметры НС	[t ₁ ,t ₂]	[t ₂ ,t ₃]	[t ₃ ,t ₄]	[t ₄ ,t ₅]
$q \pm 3\sigma_q$, м ³ /с	1±0,4	2,5±0,7	3,5±0,5	2,5±0,7
$h \pm 3\sigma_h$, м	65±2	75±3	80±4	70±3

Таблица 3 - Результаты решения задачи оперативного планирования работы насосной станции (регулирование задвижками).

НА	[t ₁ ,t ₂]min	[t ₂ ,t ₃] ↑	[t ₃ ,t ₄]max	[t ₄ ,t ₅] ↓
НА1	-----	q1=1,343м ³ /с E1=0,6 КПД1=87,3%	q1=1,318 м ³ /с E1=0,75 КПД1=87,7%	-----
НА2	-----	-----	q2=1,174 м ³ /с E2=1 КПД2=88,5%	q2=1,221 м ³ /с E2=0,55 КПД2=88,5%
НА3	q1=1 м ³ /с E1=0,405 КПД3=85,9%	q3=1,157 м ³ /с E3=0,931 КПД3=88,4%	q3=1,009 м ³ /с E3=0,995 КПД3=86,2%	q3=1,279 м ³ /с E3=0,853 КПД3=88,2%
F, кВт	947,9	2353,5	3357,25	2220,38
Потенциал энергосбережения, ΔF, кВт	217,17	213,24+72,8=286,04	144,2+68,84+44,09=257,12	191,92+110,25=302,17
$\sum_{i=1}^4 F = 8879,03$; $\sum_{i=1}^4 \Delta F = 1062,5$ (экономия 11,9%)				

Таблица 4 - НА3 с регулируемым приводом.

НА	[t ₁ ,t ₂]min	[t ₂ ,t ₃] ↑	[t ₃ ,t ₄]max	[t ₄ ,t ₅] ↓
НА1	-----	q1=1,293м ³ /с E1=0,55 КПД1=88%	q1=1,318 м ³ /с E1=0,75 КПД1=87,7%	-----
НА2	-----	-----	q2=1,162 м ³ /с E2=0,95 КПД2=88,4%	q2=1,221 м ³ /с E2=0,55 КПД2=88,5%
НА3	q1=1 м ³ /с n1=622 КПД3=85,9%	q3=1,207 м ³ /с n1=679 КПД3=88,5%	q3=1,02 м ³ /с n1=679 КПД3=86,5%	q3=1,279 м ³ /с n1=671 КПД3=88,2%
F, кВт	947,9	2339,517	3355,698	2220,3
Потенциал энергосбережения, ΔF, кВт	0	222,12	215,6	191,92
$\sum_{i=1}^4 F = 8863,415$; $\sum_{i=1}^4 \Delta F = 629,64$ (экономия 7,1%)				

Таблица 5 - Все НА с регулируемым приводом.

НА	$[t_1, t_2]_{\min}$	$[t_2, t_3] \uparrow$	$[t_3, t_4]_{\max}$	$[t_4, t_5] \downarrow$
НА1	-----	$q_1=1,439 \text{ м}^3/\text{с}$ $n_1=688$ КПД1=85,2%	$q_1=1,379 \text{ м}^3/\text{с}$ $n_1=697$ КПД1=86,7%	-----
НА2	-----	-----	$q_2=1,148 \text{ м}^3/\text{с}$ $n_1=647$ КПД2=88,3%	$q_2=1,325 \text{ м}^3/\text{с}$ $n_1=634$ КПД2=87,6%
НА3	$q_1=1 \text{ м}^3/\text{с}$ $n_1=622$ КПД3=85,9%	$q_3=1,061 \text{ м}^3/\text{с}$ $n_1=667$ КПД3=87,3%	$q_3=0,973 \text{ м}^3/\text{с}$ $n_1=676$ КПД3=85,3%	$q_3=1,175 \text{ м}^3/\text{с}$ $n_1=662$ КПД3=88,5%
F, кВт	947,9	2293,275	3341,86	2097,177
$\sum_{i=1}^4 F = 8680,212$				

На рис. 2 приведена диаграмма для функции энергозатрат при разных способах управления работой НА.

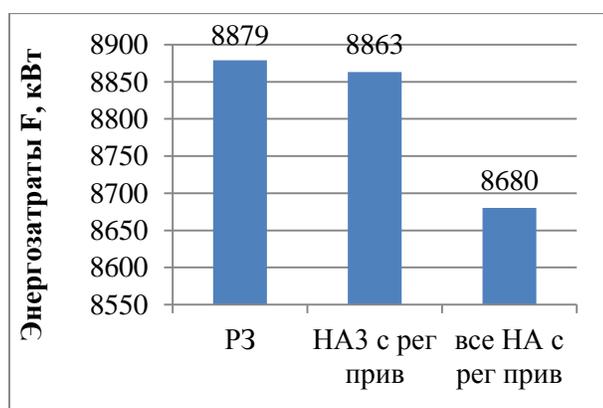


Рис. 2. Энергозатраты НС при разных способах управления НА

Из рис. 2 видно, что использование регулируемого привода позволяет снизить энергозатраты НС.

Полученные результаты подтверждают, что понизить нерациональные энергозатраты возможно путём оперативного планирования оптимальных режимов работы НС. Использование P3 для регулирования работы НА оставляет потенциал для энергосбережения. Наиболее эффективный метод управления работой НА - внедрение современных систем частотного регулирования электроприводов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Чупин, Р. В. Развитие теории и практики моделирования и оптимизации систем водоснабжения и водоотведения [Текст] / Р. В. Чупин, Е. С. Мелехов. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2011. – 323 с.
2. Карелин, В. Я. Насосы и насосные станции [Текст] / В. Я. Карелин, А. В. Минаев. – М.; Стройиздат, 1986. – 320 с.
3. Лобачёв, П. В. Насосы и насосные станции [Текст] / П. В. Лобачёв. – М.: Стройиздат, 1983. – 191 с.
4. Лезнов, Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходушных установках [Текст] / Б. С. Лезнов. – М. : Энергоатомиздат, 2006. – 358 с.
5. Тевяшев, А. Д. Об одной стратегии оперативного планирования режимов работы насосной станции [Текст] / А. Д. Тевяшев, О. И. Матвиенко. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 3.
6. Тевяшев, А. Д. Стохастическая модель и метод оперативного планирования режимов работы насосных станций [Текст]: матер. IV междунауч. – тех. конф. / А. Д. Тевяшев, О. И. Матвиенко, Г. В. Никитенко // Вода. Экология. Общество. – Х: ХНУГ им. Бекетова, 2014. – С. 61–64.
7. Евдокимов, А. Г. Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях [Текст] / А.Г. Евдокимов, А.Д. Тевяшев. – Харьков: Вища школа, 1980. – 144 с.
8. Тевяшев, А. Д. Оценивание параметров математических моделей элементов насосных станций в реальном времени [Текст] / А.Д. Тевяшев, П. В. Шулик. // АСУ и приборы автоматики. – 2002. – № 1. – С. 28–37.