

УДК 628.12

Ю. А. АЛЕКСЕЕВА, ассистент

Т. В. КОРЕНЬКОВА, канд. техн. наук, доцент

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского,
г. Кременчуг

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Обоснованы составляющие энергоресурсосбережения системы комплексного повышения эффективности насосных станций коммунального хозяйства. Определены технико-экономические показатели от внедрения такой системы с учетом составляющих первичного и вторичного эффектов.

Обґрунтовано складові енергоресурсозбереження системи комплексного підвищення ефективності насосних станцій комунального господарства. Визначено техніко-економічні показники від впровадження такої системи з урахуванням складових первинного та вторинного ефектів.

Введение

Насосные установки различных объектов и комплексы на базе их отличаются друг от друга по назначению, объемам перекачиваемого продукта, мощности агрегатов, режимам работы и т. п. Поэтому прогнозирование энергетической эффективности и целесообразности применения систем автоматического управления насосными станциями (НС) с регулируемым электроприводом должны быть выполнены для конкретного объекта на основании особенностей технологической схемы и технико-экономических расчетов.

НС систем городского водоснабжения и водоотведения представляют собой сложный комплекс взаимосвязанного электрогидравлического оборудования, включающий электроснабжающую сеть, систему электропривода, технологический механизм, гидросеть трубопроводной арматурой, разветвленную систему потребителей, характеристики и свойства которых влияют на показатели функционирования всего технологического комплекса.

Анализ показал [1–4], что режимы работы таких объектов зависят от переменного графика потребителя, изменяющихся во времени эксплуатационных характеристик оборудования, числа и схемы включения работающих одновременно насосных агрегатов (НА), вида заводских напорно-расходных и энергетических характеристик насосов, способа управления электромеханическими и технологическими параметрами. Таким образом, в основе повышения эффективности работы НС коммунального хозяйства должен лежать комплексный подход оценки энергетических и экономических показателей во всех элементах силового канала рассматриваемого электротехнологического комплекса.

Для решения такой задачи авторами предложена [5, 6] система комплексного повышения эффективности (СКПЭ) НС, которая позволяет:

- осуществить прогноз водо- и энергопотребления НС для различных вариантов регулирования технологических параметров (дресселированием, изменением частоты вращения, ступенчатым регулированием, при комбинированном управлении);
- обеспечить требуемый технологический закон регулирования – стабилизацию давления в гидросети при изменении графика водопотребления;
- выполнить анализ энергетических и технико-экономических показателей используемого оборудования НС для обоснования выбора эффективного метода регулирования и целесообразности дальнейшей эксплуатации гидравлического оборудования.

С учетом сказанного, при определении экономической эффективности от внедрения СКПЭ НС водоснабжения, необходимо рассматривать две группы составляющих: первичного эффекта, включающего экономию электроэнергии непосредственно от

использования регулируемого электропривода насоса, снижение потерь энергии в насосе при его износе, уменьшение количества отказов оборудования, сокращение штата обслуживающего персонала НС, и вторичного эффекта, обусловленного снижением объема перекачки чистых и сточных вод за счет уменьшения избыточных напоров в трубопроводной сети.

Анализ показал, что в такого рода объектах годовая экономическая эффективность при учете вторичного эффекта в 5-7 раз, а в ряде случаев и более может превышать эффект от прямой экономии электроэнергии [7].

Тогда для НС коммунального хозяйства составляющие экономической эффективности имеют вид:

$$C_{\Sigma ef} = C_{\Sigma ef I} + C_{\Sigma ef II},$$

где $C_{\Sigma ef I} = C_{Wg} + C_{\Delta Wcp} + C_r + C_s$, $C_{\Sigma ef II} = C_Q + C_q$ – составляющие первичного и вторичного экономического эффекта (снижение эксплуатационных расходов);

C_{Wg} – экономический эффект от снижения потребляемой электроэнергии при регулировании производительности изменением частоты вращения НА по сравнению с дросселированием потока жидкости в напорном коллекторе за счет устранения избыточного напора на дросселирующем органе;

$C_{\Delta Wcp}$ – экономический эффект от снижения потерь энергии в насосе за счет учета изменения его эксплуатационных характеристик путем принятия решения о целесообразности дальнейшей эксплуатации или замены оборудования;

C_r – экономический эффект от снижения расходов на обслуживание и ремонт оборудования за счет повышения надежности насосной станции;

C_s – экономический эффект от снижения денежных средств фонда для оплаты труда работников за счет сокращения штата обслуживающего персонала НС;

C_Q – экономический эффект от снижения объемов непроизводительных расходов воды и утечек за счет снижения избыточных напоров в трубопроводной сети;

C_q – экономический эффект от уменьшения сброса сточных вод в канализацию, учитывающий стоимость перекачки и обработки стоков.

Цель работы. Определение технико-экономических показателей системы комплексного повышения эффективности насосных станций коммунального хозяйства при регулировании технологических параметров.

Материал и результаты исследования

Для НС системы водоснабжения г. Кременчуга, включающей: центробежный насос типа Д2000-100 ($Q_n=0,556 \text{ м}^3/\text{с}$; $H_n=100 \text{ м}$; $P_{sh}=760 \text{ кВт}$; $n_n=980 \text{ об/мин}$; $\eta=0,75$); асинхронный двигатель ($P_n=800 \text{ кВт}$; $n_0=1000 \text{ об/мин}$; $s_n=1,4 \%$; $I_1=94,5 \text{ А}$; $\eta=0,95$; $\cos(\varphi)=0,86$; $\lambda_m=1,9$; $\lambda_{st}=5,3$); трубопровод ($d=1,2 \text{ м}$; $l=5 \text{ км}$; $H_c=10 \text{ м}$; $R_c=291,6 \text{ с}^2/\text{м}^5$), капитальные затраты на внедрение СКПЭ НС сведены в табл. 1.

Таблица 1

Перечень элементов СКПЭ НС и их стоимость

Наименование оборудования	Количество	Стоимость, грн.	
		Единицы	Всего
Преобразователь частоты (ПЧ)	1 шт.	800 кВт	1280000
Шкаф для установки ПЧ	1 шт.	4800	4800
Кабель силовой	40 м	25	1000
Кабель монтажный	50 м	16	800
Датчик расхода	3 шт.	30000	90000
Датчик давления	4 шт.	3900	15600
Устройство управления и принятия решения	1 шт.	6000	6000
Устройство сопряжения с датчиками	1 шт.	5000	5000

Итого, стоимость оборудования (СО):		1397000 грн.
Транспортные расходы 7,5% от СО	$1397000 \cdot 7,5/100=$	104800
Строительно-монтажные, пуско-наладочные работы 10% от СО (СМР)	$1397000 \cdot 10/100=$	139700
Накладные расходы, 21% от СМР (НР)	$139700 \cdot 21/100=$	29340
Плановые накопления 8% от суммы СМР и	$(139700 + 29340) \cdot 8/100=$	13520
Итого:	$104800 + 139700 + 29340 + 13520$	287400
Капитальные затраты K_s на СКПЭ НС:		1685000 грн.

Для исследуемого объекта получены диаграммы распределения энергии и потерь энергии во всех элементах силового канала насосного комплекса (НК) (рис. 1, 2) [6]. Анализ показал, что при отработке суточного графика водопотребления изменением частоты вращения (рис. 1, а) в пределах 40 % вниз от номинальной энергопотребление W_{g1} НС на 16 % ниже, чем при использовании дросселирования потока жидкости на выходе насоса W_{g2} (рис. 1, б). Тогда экономический эффект от прямой экономии электроэнергии средствами регулируемого электропривода составит:

$$C_{wg} = C_{wg1} - C_{wg2},$$

где $C_{wg1} = W_{g1} t_y k$, $C_{wg2} = W_{g2} t_y k$ – стоимость потребляемой электроэнергии; $t_y = 360$ – количество рабочих дней НС в году; $k = 1,0754$ грн·кВт – тариф на электроэнергию; «1», «2» – в индексах соответственно эксплуатационные расходы для базового варианта НС и при внедрении СКПЭ НС.

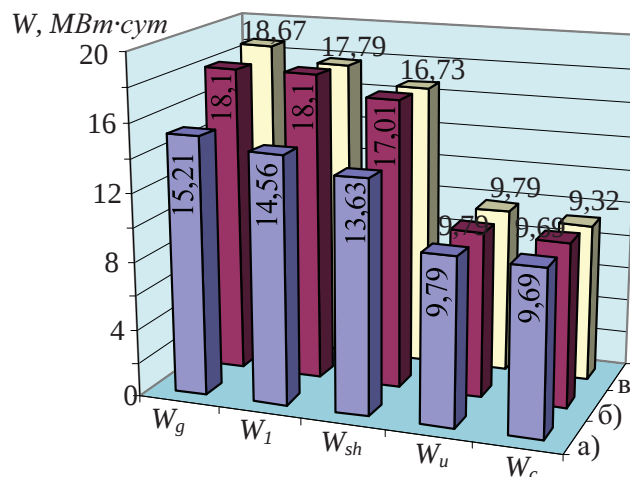


Рис. 1. Диаграмма распределения энергии в НК: W_g – энергия, поступающая от распределительной сети; W_1 – энергия, подводимая к электродвигателю; W_{sh} – энергия на валу насоса; W_u – гидравлическая энергия насоса; W_c – гидравлическая энергия в сети потребителя

При длительной эксплуатации насоса в результате износа происходит отклонение его эксплуатационных характеристик от паспортных и, соответственно, рост потерь мощности в турбомеханизме, составляющих в некоторых случаях 50–70 % от номинальных потерь [5].

Тогда, замена насоса на новый будет целесообразна при выполнении условия:

$$(C'_{\Delta W_{cp}} - C_{\Delta W_{cpn}}) \geq K_{cp},$$

где $C_{\Delta W_{cp}} = k t_{pd\ cp} \Delta P_{cp}$, $C'_{\Delta W_{cpn}} = k t_{pd\ cp} \Delta P'_{cp}$ – денежные затраты на потери энергии в насосе при работе НС с паспортными и изменившимися эксплуатационными характеристиками насоса; $t_{pd\ cp}$ – период определения фактических эксплуатационных

характеристик насоса; ΔP_{cpn} , $\Delta P'_{cp}$ – потери мощности в насосе с паспортными и изменившимися эксплуатационными напорно-расходными и мощностными характеристиками; K_{cp} – капитальные вложения нового центробежного насоса.

Анализ распределения потерь энергии в НК (рис. 2 а), в) показал, что для рассматриваемого насоса, находящегося в эксплуатации свыше 20 лет является целесообразным замена насоса на новый.

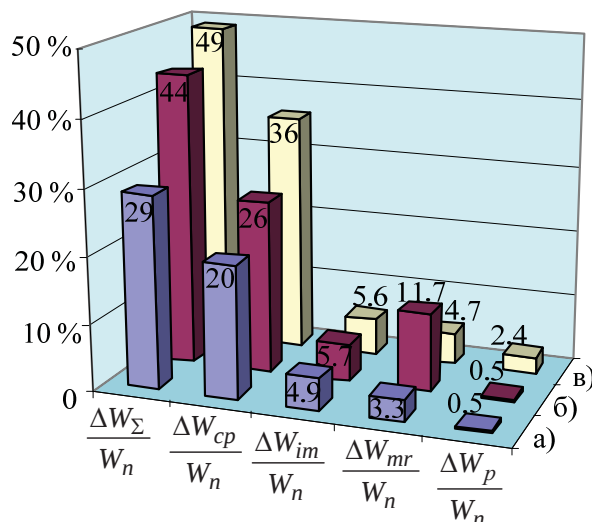


Рис. 2. Диаграмма распределения потерь энергии в НК: ΔW_{Σ} – суммарные потери энергии в НК; ΔW_{cp} – потери энергии в центробежном насосе; ΔW_{im} – потери энергии в асинхронном двигателе; ΔW_{mr} – потери энергии от метода регулирования; ΔW_p – потери энергии в трубопроводе; ΔW_n – номинальные потери энергии в асинхронном двигателе

Применение регулируемого электропривода в НС позволяет сократить выход из строя электрогидравлического оборудования, снизить количество аварий на трубопроводных сетях.

Экономический эффект от снижения расходов на обслуживание и ремонт оборудования (табл. 2):

$$C_r = C_{r1} - C_{r2},$$

где $C_{r1} = C_{pu1} + C_{p1} + C_{V1}$; $C_{r2} = C_{pu2} + C_{p2} + C_{V2}$; C_{pu1} , C_{pu2} , C_{p1} , C_{p2} , C_{V1} , C_{V2} – расходы на обслуживание и ремонт НА, трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры, соответственно; C_{r2} получено на основе статистики отказов аналогичного объекта (модернизированного) с регулируемым электроприводом, обеспечивающим плавное регулирование параметров.

Расходы на обслуживание и текущий ремонт НА C_{pu} состоят из затрат на замену подшипниковых узлов $C_b = C_b k_1$, перемотку электродвигателей $C_{em} = C_{em} k_2$ и устранения разбалансировок НА (подтяжка, набивка сальников и др.) $C_{imb.pu} = C_{imb.pu} k_3$, где $C_b, C_{em}, C_{imb.pu}, k_1, k_2, k_3$ – стоимость комплекта подшипников, перемотки электродвигателя, стоимость разбалансированного элемента НА и количество ремонтов за год соответственно.

Расходы на обслуживание и текущий ремонт труб и коллекторов C_p состоят из затрат на замену 1 м трубопровода в случае порыва $C_{br} = C_p k_4$ и на устранение свищей $C_{fis} = C_m k_5$, где C_p, C_m, k_4, k_5 – стоимость одного метра трубопровода, стоимость материала на устранение свища и количество ремонтов за год соответственно.

Расходы на обслуживание и текущий ремонт запорно-регулирующей арматуры C_{V1}

состоят из затрат на замену задвижки (например, по причине разрыва корпуса задвижки) $C_{val} = C_{val} k_6$, замену электродвигателя задвижки $C_{em.val} = C_{em.val} k_7$ и устранения разбалансировок запорно-регулирующей арматуры (подтяжка сальников, механический частей задвижек, износ уплотнителей, износ шестерни приводного редуктора и др.) $C_{imb.V} = C_{imb.V} k_8$, где $C_{val}, C_{em.val}, C_{imb.V}, k_6, k_7, k_8$ – стоимость задвижки, электродвигателя задвижки, стоимость разбалансированной механической части запорно-регулирующей арматуры (уплотнители, шестерни редуктора и др.) и количество ремонтов за год соответственно.

Таблица 2

Расходы на обслуживание, текущий ремонт и экономический эффект от их снижения

Статья расходов	Для базового объекта C_{r1} , грн	Для модерн. объекта C_{r2} , грн	Экономический эффект C_r
<i>Насосные агрегаты</i>			
Замена подшипников	8500	2710	68,6 %
Перемотка	69000	-	100%
Разбалансировка НА	70000	36000	в 1,9 раз
<i>Трубы и коллектора:</i>			
Порывы	23000	18100	21,3 %
Свищи	12000	9700	19,2 %
<i>Запорно-регулирующая арматура:</i>			
Разбалансировка	10400	8500	18,3 %
Замена ЭД задвижки	13700	7600	44,5 %
Замена задвижки	12300	9200	25,2 %
Итого:	218900	91810	127100 грн

Сокращение базового штата обслуживающего персонала НС составило 32,5 % по сравнению с новым, при этом экономический эффект от снижения денежных средств фонда для оплаты труда работников составил $C_s = C_{s1} - C_{s2} = 46800$ грн.

Для расчета стоимости сэкономленной чистой воды при внедрении регулируемого электропривода НС воспользуемся выражением [7]:

$$C_Q = k_Q V_{ec.y},$$

где $V_{ec.y} = \Delta v_{\Sigma i}^* V_y$ – снижение объемов непроизводительных расходов воды и утечек; $k_Q = 2,48$ грн/м³ – стоимость воды; $\Delta v_{\Sigma i}^* = f(\lambda, H_{st}^*)$ – относительная экономия воды, определяемая по методике [7]; $\lambda = Q_{min}/Q_{max}$ – минимальный расход; Q_{min} , Q_{max} – наименьшая и наибольшая подача НС; $H_{st}^* = H_{st}/H_{max}$ – относительное противодавление.

Стоимость перекачки и обработки уменьшенного объема сточных вод [7]:

$$C_q = k_q V_{decr.res},$$

где $V_{decr.res} = 0,85 V_{ec.y}$ – уменьшение объема сброса сточных вод в канализацию; $k_q = 2,32$ грн/м³ – стоимость перекачки и обработки стоков.

Эксплуатационные расходы базового, нового вариантов и экономический эффект от их снижения приведены в табл. 3.

Годовая экономическая эффективность внедрения и период окупаемости СКПЭ НС:

$$E_{eff I} = C_{\Sigma ef I} - AK - E_n K; E_{eff I+II} = C_{\Sigma ef I} + C_{\Sigma ef II} - AK - E_n K;$$

$$T_I = K / (C_{\Sigma ef I} - AK); T_{I+II} = K / (C_{\Sigma ef I} + C_{\Sigma ef II} - AK),$$

где $E_{eff I}$ – экономическая эффективность от первичного эффекта; $E_{eff I+II}$ – экономическая эффективность от первичного и вторичного эффектов;

$C_{\Sigma ef I} = C_{Wg} + C_{\Delta Wcp} + C_r + C_s$ – снижение эксплуатационных расходов от первичного эффекта; $C_{\Sigma ef II} = C_Q + C_q$ – снижение эксплуатационных расходов от вторичного эффекта; $A = A\% / 100$ – амортизационные отчисления от капитальных вложений, отн.ед.; $A\% = 8,3\%$ – норма амортизационных отчислений для электротехнического оборудования; $K = K_s + K_{cp}$; $K_{cp} = 225$ тыс. грн; $E_n = 1/T_n$ – нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений; $T_n = 0,15$ – нормативный период окупаемости капитальных вложений; T_I – период окупаемости СКПЭ НС с учетом первичного эффекта; T_{I+II} – период окупаемости СКПЭ НС с учетом первичного и вторичного эффектов.

Таблица 3

Эксплуатационные расходы

Составляющие экономического эффекта $C_{\Sigma ef}$				Базовые, грн	Новые, грн
первичный	$C_{Wg} = C_{Wg1} - C_{Wg2}$	16 %	1120000 грн	$C_{Wg1} = 7007000$	$C_{Wg2} = 5887000$
	$C_{\Delta Wcp} = C'_{\Delta Wcp} - C_{\Delta Wcpn}$	44,6 %	1114000 грн	$C'_{\Delta Wcp} = 249800$	$C_{\Delta Wcpn} = 138500$
	$C_r = C_{r1} - C_{r2}$	в 2,4 раза	127100 грн	$C_{r1} = 218900$	$C_{r2} = 91810$
	$C_s = C_{s1} - C_{s2}$	32,5 %	46800 грн	$C_{s1} = 144000$	$C_{s2} = 97200$
	$C_{\Sigma ef I}$	$C_{\Sigma ef I} = 2407900 \text{ грн}$		9867900	7461010
вторичный	C_Q	19,1 %	7238000 грн	37890000	30660000
	C_q	15 %	1016000 грн	6771000	5755000
	$C_{\Sigma ef II} = C_Q + C_q$	$C_{\Sigma ef II} = 8253000 \text{ грн}$		44660000	36410000
$C_{\Sigma ef I} + C_{\Sigma ef II}$		$C_{\Sigma ef I} + C_{\Sigma ef II} = 10660900 \text{ грн}$		-	-

Из анализа полученных технико-экономических показателей (рис. 3, 4) видно, что экономическая эффективность СКПЭ НС, базирующаяся только на первичном эффекте, позволяет получить годовой экономический эффект 1,96 млн. грн, срок окупаемости такой системы составит 10,2 мес. При учете вторичного эффекта – годовой экономический эффект увеличится в 5,2 раза, а срок окупаемости сократится до 2,2 мес.

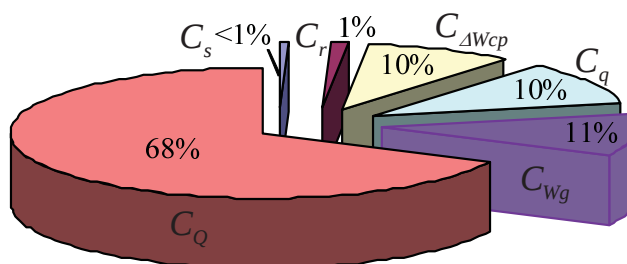


Рис. 3. Диаграмма распределения составляющих экономического эффекта

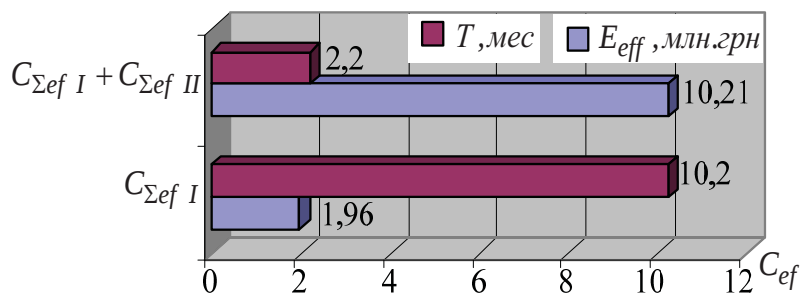


Рис. 4. Техничко-экономические показатели СКПЭ НС

Выводы

Показано, что при определении технико-экономической эффективности от внедрения систем автоматического управления насосных станций коммунального хозяйства с регулируемым электроприводом необходимо учитывать взаимосвязанность работы электрогидравлического оборудования системы подачи чистых и перекачки сточных вод. Сказанное приводит к появлению «лавинообразного» эффекта в результате применения предлагаемой системы комплексного повышения эффективности насосных станций, обусловленного экономией электроэнергии в результате применения регулируемого электропривода и снижением потерь энергии в результате учета износа технологического оборудования, сокращением утечек и непроизводительных расходов в трубопроводных сетях.

Список литературы

1. Клепиков В. Б. О роли электропривода в решении проблемы энергоресурсосбережения в Украине / В. Б. Клепиков, В. Ю. Розов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – № 30. – С. 18-21.
2. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздухоподувающих установках / Б. С. Лезнов. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.
3. Алексеева Ю. А. Техническое состояние и технологии управления насосными комплексами коммунального хозяйства / Ю. А. Алексеева, Т. В. Коренькова // Вісник КДПУ: Зб. наук. пр. КДПУ. – Вип. 3/2008 (50), – ч. 1. – Кременчук: КДПУ, 2008. – С. 135–141.
4. Петросов В. А. Устойчивость водоснабжения / В. А. Петросов. – Харьков: Фактор, 2007. – 357 с.
5. Алексеева Ю. А. Система повышения эффективности насосного комплекса с энергонаблюдателем в контуре управления / Ю. А. Алексеева, Т. В. Коренькова // Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія й практика. Тематичний випуск науково-технічного журналу «ЕЛЕКТРОІНФОРМ». – Львів: ЕКОінформ, 2009. – С. 377 – 381.
6. Загирняк М. В. Система повышения эффективности электромеханических комплексов / М. В. Загирняк, Т. В. Коренькова, Ю. А. Алексеева // Електротехніка. – М.: Знак, 2012. – № 7. – С. 2–8.
7. Лезнов Б. С. Методика оценки эффективности применения регулируемого электропривода в водопроводных и канализационных насосных установках / Б. С. Лезнов – М.: Машиностроение, 2011. – 88 с.

TECHNICAL AND ECONOMIC PARAMETERS OF THE SYSTEMS OF COMPLEX IMPROVE EFFICIENTLY PUMPING STATIONS

J. ALEKSEEVA, ass., T. KOREN'KOVA, Cand. of Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

The components of energy and resource saving of the system of municipal pumping stations complex efficiency improvement have been grounded. Technical and economic parameters of the introduction of such a system with the components of the primary and secondary effects have been defined.

Поступила в редакцию 05.10 2012 г.