

## НАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ ТРЕТЬЕГО ПОДЪЕМА В ЖИЛИЩНО - КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

**В.В. Зинченко, А.В. Неня, А.А. Руденко\***

*Сумской государственной университет, г. Сумы;*

*\*ЗАО НПО «Гидромаш», г.Сумы*

Одним из направлений улучшения современного состояния жилищно-коммунального хозяйства Украины является эффективное энергосбережение, включающее снижение расхода и уменьшение потерь энергоносителей, снижение энергоемкости продукции и услуг, в частности услуг водоснабжения. Эти проблемы особенно актуальны для коммунальных предприятий сферы водоснабжения, у которых доля энергетических затрат в себестоимости предоставляемых услуг достигает 60-80%.

Но, несмотря на рост себестоимости услуг (в основном из-за роста цен на энергоносители) и существование долгов (как собственных предприятия, так и потребителей), водоканалам Украины в существующих условиях очень сложно поднять тарифы для потребителей на услуги, и таким образом увеличить уровень оплаты. Это заставляет искать возможные пути сокращения производственных затрат. Поэтому разработка и внедрение энергосберегающих мероприятий является одним из основных путей в этом направлении. Это обусловлено двумя главными причинами:

1. Большим удельным весом стоимости электроэнергии в себестоимости услуг из водоснабжения.

2. Это единственная составная себестоимости продукции, которую можно существенно уменьшить.

Высокий уровень энергоемкости услуг, оказываемых городскими водоснабжающими предприятиями, обуславливается крайне нерациональным и неэффективным использованием энергии, в первую очередь – электрической, в технологических производственных процессах. Перерасход энергоресурсов в жилищно-коммунальном хозяйстве, в основном, происходит вследствие следующих причин:

– значительного физического износа и водопроводных сетей, и насосного оборудования;

– высокого уровня утечек воды в сетях, как городских, так и внутридомовых;

– тарифов на коммунальные услуги, несоответствующих реальной стоимости услуг;

– высокой энергоемкости продукции и услуг коммунального сектора.

Последний фактор в значительной мере предопределен сложившимися начальными условиями развития городских систем водоснабжения и водоотведения в Украине. Интенсивное становление этой сферы коммунального хозяйства происходило в период с 1960 по 1980-е годы, и характеризовалось наибольшими объемами капитальных вложений в развитие структуры водоканалов, что очень сильно повлияло на проектные особенности систем водоснабжения и водоотведения. К основным таким особенностям можно отнести:

1) системы водоснабжения и водоотведения городов проектировались на основе одних и те же типовых проектов, без учета индивидуальных особенностей городов;

2) типовой подход к проектированию систем водоснабжения обусловил также и «типовой» подбор технологического оборудования с

избыточным запасом по производительности и энергетическим характеристикам оборудования, которое в типовых проектах выбиралось в расчете на рост городов в ближайшем будущем;

3) запас (до 3 раз и более) по характеристикам установленного оборудования, не отвечающего реальным потребностям водоснабжения и водоотведения, низкий уровень цен на энергетические ресурсы, а также полное отсутствие возможности энергоэффективного регулирования параметров оборудования изначально заложили высокий уровень энергоемкости продукции в этой отрасли коммунального хозяйства.

Поэтому общей проблемой городов Украины, которая остается особенно актуальной и сегодня, стал неоправданно высокий уровень текущих (эксплуатационных) затрат, в первую очередь, высокий уровень потребления электроэнергии, на подъем воды. Общие тенденции к ускорению и удешевлению строительства станций третьего подъема в период строительства приводили к принятию не самых лучших проектных решений и упрощенных технологий. Такой подход ускорил строительство станций третьего подъема, но также и привел к установке оборудования завышенной мощности с расчетом на рост водопотребления в будущем. Однако при этом совершенно не принимались в расчет колебания суточного графика потребления воды, что и обусловило рост текущих затрат при эксплуатации станций.

Таким образом, в настоящее время практически во всех городах Украины имеются значительные резервы снижения энергопотребления насосными установками третьего подъема путем согласования параметров насосного оборудования суточным графиком подачи воды.

Одним из проектов, демонстрирующих возможности снижения энергопотребления насосными станциями третьего подъема в коммунальной сфере г.Сумы, является реконструкция насосной установки третьего подъема, осуществленная ГКП «Горводоканал», г. Сумы.

Причиной начала проведения работ в этом направлении стал необоснованный рост количества потребленной электроэнергии центральными тепловыми пунктами (ЦТП) г. Сумы, выполняющими подкачку воды в жилые многоэтажные дома.

Анализ потребления электроэнергии ЦТП за период с 2001 по 2003 год показал рост среднемесячного потребления электроэнергии на 20,5% (с 327 до 394 тыс. кВт-ч, а варьирование мощности за 2003 г. составило 310-552 тыс. кВт-ч (78%!)), несмотря на то, что количество реализованной воды потребителям в период с 2000 - 2003 г. уменьшилось на 27,2% (с 20,6 до 15,0 млн м<sup>3</sup>).

Это привело к росту удельного веса затрат в тарифе на 3-й подъем с 7,4 до 15% (100%!).

Предварительное обследование шести ЦТП №6,14,18,19,24,26 показало, что из 137,5 кВт номинальной мощности работающего насосного оборудования рабочими оказались 87,11 кВт, т.е. усредненный коэффициент загрузки только электродвигателей составил 0,633.

На основании полученных данных после обращения руководства ГКП «Горводоканал» в Управление жилищно-коммунального хозяйства г.Сумы было получено разрешение осуществить мероприятия по оптимизации работы насосных станций 3-го подъема на базе ЦТП-3.

В результате проведения работ по энергетическому аудиту на ГКП «Горводоканал» г.Сумы в 2004 г. были проведены исследования объемов энергопотребления насосов третьего подъема на ЦТП-3, обслуживающем 3 жилых дома и детский сад.

Общее количество зарегистрированных абонентов, подключенных к этому ЦТП, составило 1396 чел. По существующим нормам водоснабжения (из расчета 300 л/сутки на человека и 825 м<sup>3</sup> в месяц на детский сад)

среднечасовой расход воды по ЦТП-3 должен составлять - 18,6 м<sup>3</sup> , а суточный - 445 м<sup>3</sup>.

По проектному решению на ЦТП-3 (как и на других) в качестве подкачивающих насосов использовались одноступенчатые консольные насосы. На 23 декабря 2003 года было установлено три консольных насосных агрегата типа 4К-8 с рабочими параметрами: Н=55 м, Q=90 м<sup>3</sup>/ч. Насосы были укомплектованы электродвигателями мощностью 18,5кВт каждый.

Во время проведения комплексных измерений режима электропотребления и водоснабжения потребителей на ЦТП-3, которые проводились 23-24 декабря 2003 года, в работе находился насос № 1. Для определения режима потребления воды использовались крыльчатые расходомеры (установленные на ЦТП), для определения электрических параметров работы двигателя насоса - электрический анализатор. Давление на входе и на выходе из насосов измерялось манометрами. Показания фиксировались каждый час.

По результатам замеров было установлено:

1 Расход воды по ЦТП-3 в течение суток изменялся от 12,80 - в часы максимального разбора воды, до 0,0-0,5 м<sup>3</sup>/ч (в пределах погрешности водомера) - в ночное время.

2 Рабочая мощность насоса №1 изменялась незначительно: от 14,83 (в часы максимального разбора воды) до 13,61 кВт (в ночное время), что, согласно характеристике, соответствует работе насоса на практически закрытую задвижку. Погрешность измерения количества потребления воды крыльчатыми водомерами нивелируется малым изменением потребляемой мощности.

3 Напор насоса (разность давлений на входе и выходе агрегата) составлял от 48 м - в часы максимального разбора воды, до 27 м - в ночное время.

Сопоставление рабочих параметров насосов и фактического режима водопотребления показал, что установленный работающий насос 4К-8 не соответствует реальным параметрам сети – они существенно завышены, что является основной причиной перерасхода электроэнергии.

На основании полученных в ходе исследования данных с целью снижения затрат электроэнергии был разработан проект реконструкции насосной станции третьего подъема, состоящий из нескольких этапов.

На первом этапе для реализации существующего режима водоснабжения жилых домов, запитанных от ЦТП-3, после анализа возможных конструктивных решений станции было предложено использовать автоматизированную установку со ступенчатым регулированием производительности на базе малорасходных центробежных насосов серии 3-Х-ЦНС, производства ОАО «Насосэнергомаш» (г. Сумы).

На втором этапе предполагается провести сравнительные технико-экономические испытания насосной установки, состоящей из трех насосов ЦН 7-50, которые являются разработкой ЗАО «НПО «Гидромаш»» (г. Сумы). Эти насосы имеют конструкцию, аналогичную конструкции ЦНС3-60, но имеют усовершенствованную энергетическую характеристику проточной части. Для работы в периоды малого разбора воды один (из трех насосных агрегатов) предполагается укомплектовать частотно-регулирующим приводом.

В рамках первого этапа проекта на ГКП «Горводоканал» в феврале 2004 года была разработана и смонтирована автоматическая насосная установка повышения давления на базе малорасходных высоконапорных насосов серии 3-Х-ЦНС, производства ОАО «Насосэнергомаш» (г. Сумы). Станция повышения давления состоит из 5 насосов ЦНС 3-60 (Н=60-45м, Q=3-6 м<sup>3</sup>/ч). Все насосы укомплектованы электродвигателями Р=1,5 кВт (n=3000 об/мин) каждый.

Данная установка способна обеспечить часовую подачу до 20 м<sup>3</sup> воды при H=45-50м. Управление насосными агрегатами производится с помощью программируемого контроллера «Alpha» (Mitsubishi Electric Ltd), управляющим сигналом для которого является сигнал датчика давления, установленного на напорном трубопроводе. В контроллер в виде программы были введены следующие параметры водоснабжения жилых домов:

- минимально и максимально допустимые напоры;
- порядок включения насосов, очередность их работы в качестве основного насоса (для обеспечения равномерной наработки насосов);
- ночной режим работы;
- задержка по времени, для бесперебойной работы насосов при кратковременном превышении граничных значений давления;
- остановка станции при достижении минимального значения давления на входе или максимального на выходе.

Гидропневмобак объемом 100 л предназначен для компенсации гидродинамических ударов в системе водоснабжения. Использование бака снижает частоту включения насосов повысительной установки, позволяя получить необходимую подачу воды под давлением между тактами насосов до очередного включения насоса.

Точный учет воды, прошедшей через установку, производится крыльчатим многоструйным счетчиком холодной воды «Invensys» MTQN10Y40 (Словакия) с порогом чувствительности 0,040-20,0 м<sup>3</sup>/ч, входящего в состав установки.

Сравнительные результаты работы базовой насосной станции и экспериментальной установки за сутки эксплуатации приведены в табл.1 и на рис. 1.

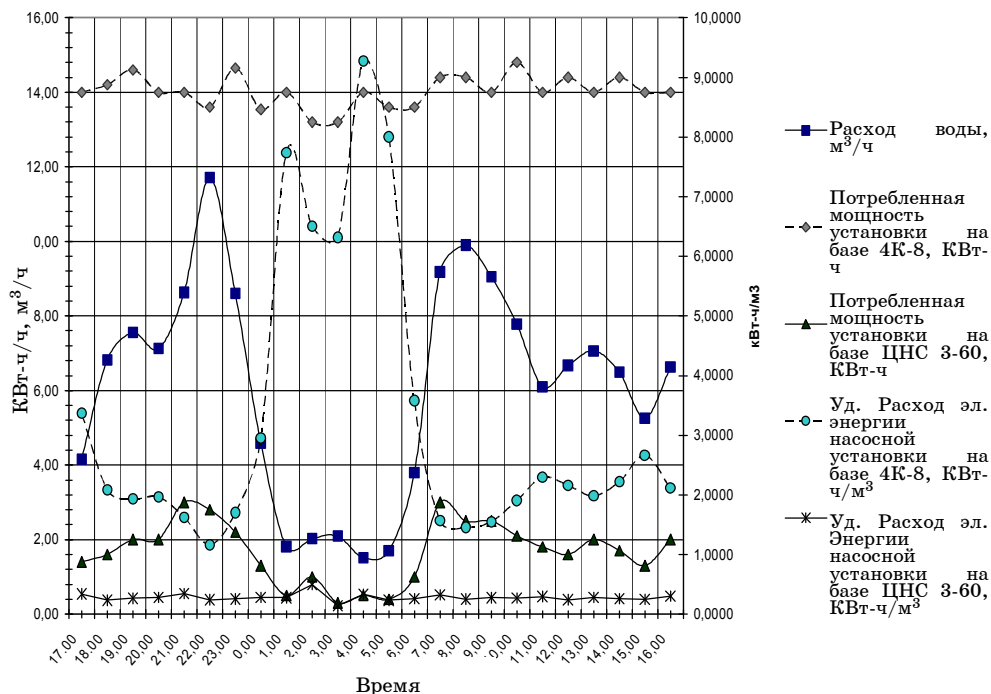


Рисунок 1 – Сравнительный анализ работы ЦТП насосными установками с насосами 4К-8 и ЦНС-3-60

Таблица 1 – Сравнительные результаты работы насосных установок: на базе насосов 4К-8 и ЦНС 3-60

Время, час	Часовая потребляемая мощность установок, кВт-ч		Потребление воды <sup>#</sup> , м <sup>3</sup> /ч	Удельный расход электроэнергии установкой, кВт/м <sup>3</sup>		Относительное снижение удельного расхода электроэнергии на 1м <sup>3</sup> воды, раз
	на базе 4К-8*	на базе ЦНС 3-60 <sup>#</sup>		на базе 4К-8*	на базе ЦНС 3-60 <sup>#</sup>	
17.00	14,0	1,4	4,16	3,3654	0,3365	10,00
18.00	14,2	1,6	6,81	2,0852	0,2349	8,88
19.00	14,6	2,0	7,55	1,9338	0,2649	7,30
20.00	14,0	2,0	7,12	1,9663	0,2809	7,00
21.00	14,0	3,0	8,63	1,6222	0,3476	4,67
22.00	13,6	2,8	11,71	1,1614	0,2391	4,86
23.00	16,0	2,2	8,61	1,8583	0,2555	7,27
0.00	12,8	1,3	4,58	2,7948	0,2838	9,85
1.00	14,0	0,5	1,81	7,7348	0,2762	28,00
2.00	13,2	1,0	2,03	6,5025	0,4926	13,20
3.00	13,2	0,3	2,09	6,3158	0,1435	44,00
4.00	14,0	0,5	1,51	9,2715	0,3311	28,00
5.00	13,6	0,4	1,70	8,0000	0,2353	34,00
6.00	13,6	1,0	3,80	3,5789	0,2632	13,60
7.00	14,4	3,0	9,18	1,5686	0,3268	4,80
8.00	14,4	2,5	9,90	1,4545	0,2525	5,76
9.00	14,0	2,5	9,04	1,5487	0,2765	5,60
10.00	14,8	2,1	7,77	1,9048	0,2703	7,05
11.00	14,0	1,8	6,10	2,2951	0,2951	7,78
12.00	14,4	1,6	6,67	2,1589	0,2399	9,00
13.00	14,0	2,0	7,06	1,9830	0,2833	7,00
14.00	14,4	1,7	6,69	2,2188	0,2619	8,47
15.00	14,0	1,3	5,26	2,6616	0,2471	10,77
16.00	14,0	2,0	6,62	2,1148	0,3021	7,00
Всего	337,2	40,5	146,20	--	--	--
Среднее	14,1	1,7	6,09	3,2542	0,2809	11,74

\* - данные 23-24.12.2003 г.;  
# - данные 19-20.04.2004г.

В соответствии с полученными данными фактический расход воды в период 19-20 апреля 2004 года изменялся с 11,71 до 1,51 м<sup>3</sup>/ч, или в 7,75 раза. Этому изменению расхода, в рамках старой насосной установки, соответствовал перепад потребляемой электрической мощности с 14,4 до 12,8 кВт-ч, или в 1,125 раза. Таким образом, изменение фактического расхода воды практически не приводило к изменению потребляемой электрической мощности, объясняя необоснованный перерасход электроэнергии.

Это заключение подтверждает характер изменения показателя удельного расхода электроэнергии на 1м<sup>3</sup> поданной воды, который колебался в пределах от 8,0 до 1,16 кВт-ч/м<sup>3</sup>, или в 6,9 раза в течение суток.

В случае с экспериментальной установкой при той же величине изменения фактического расхода воды границы перепада потребляемой электрической мощности составили от 3,0 до 0,3 кВт-ч (10 раз), что больше соответствует изменению величины фактического расхода воды в системе, обеспечивая более рациональное использование электроэнергии.

В результате диапазон колебаний показателя удельного расхода электроэнергии на 1 м<sup>3</sup> воды сузился до 0,23-0,49 кВт-ч/м<sup>3</sup> и составил 2,13 раза.

Приведенные выше данные позволяют проанализировать и оценить эффективность энергопотребления при правильном подборе насосов.

Среднесуточная величина удельного расхода электроэнергии составила 0,2809 кВт-ч/м<sup>3</sup>, а средний показатель за месяц эксплуатации (19,04 – 20,05) составил – 0,2784 кВт-ч/м<sup>3</sup>.

Мощность, потребляемая насосом, определяется по формуле [1], которая определяет линейную зависимость мощности насоса от его подачи:

$$N = \frac{\gamma Q H}{\eta_H} = kQ + b, \quad (1)$$

где  $N$  – мощность, Вт;

$\gamma$  – удельный вес чистой воды, Н/м<sup>3</sup>;

$Q$  – подача, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – напор, м;

$\eta$  – КПД насосного агрегата;

$k, b$  – коэффициенты уравнения регрессии.

В рабочем интервале характеристики при относительно малом изменении напора эта зависимость приводит к установлению практически постоянной величины удельного расхода электроэнергии на 1 м<sup>3</sup> поднятой воды:

$$\frac{N}{Q} = \frac{\gamma H}{\eta_H} \approx const. \quad (2)$$

Расчетная величина удельного расхода для оптимального режима  $H_{\text{опт}}=45\text{м}$ , при  $\eta_H=0,51$  (для ЦНС 3-60), составляет 0,2357 кВт-ч/м<sup>3</sup>. Сравнительный анализ среднего фактического и расчетных значений удельных расходов свидетельствует о завышенном на 18% по сравнению с теоретически возможным уровнем энергопотребления электроэнергии экспериментальной насосной станцией.

На основании этих данных было принято решение оптимизировать параметры станции снижением напора основных рабочих насосов №1-5 с 60 до 45 м путем удаления одной ступени.

Анализ работы станции за сутки 20-21.05.2004г оптимизированными насосами ЦНС 3-45 дал следующие результаты:

- суточный расход воды составил 155,8м<sup>3</sup>;
- суточная потребляемая мощность установки составила 37,0кВт-ч;
- удельный расход составил 0.2386 кВт-ч/м<sup>3</sup>, а отклонение от теоретически возможной величины составило 6,5%.

Полученные результаты свидетельствуют о достижении насосной установкой минимального уровня энергопотребления, лежащего в допустимых пределах погрешности измерений.

Используя методы статистического анализа, метод наименьших квадратов, оценим существующую связь между фактическим расходом воды и потребляемой электрической мощностью. Поскольку данная зависимость носит линейный характер, рассчитаем уравнение регрессии и корреляционное соотношение для:

- базовой установки – 4К-8 (насос №1);
- экспериментальной установки – на базе ЦНС 3-60;
- насоса ЦНС 3-45 (согласно паспортной характеристики).

Для установки на базе насосов 4К-8 ( $N_{4К.8}$ ) уравнение регрессии имело

вид

$$N_{4K-8} = 0,1125 \times Q_{\Phi} + 13,428, \quad (3)$$

где  $N_{4K-8}$  - потребляемая мощность экспериментальной установкой, кВт;

$Q_{\Phi}$  - фактический расход воды в сети, м<sup>3</sup>/ч.

Корреляционное соотношение составляло 0,47, что свидетельствует о явном несоответствии параметров насосной установки режиму сети, что объясняет высокое энергопотребление.

После запуска экспериментальной насосной установки (на основе ЦНС 3-60) уравнение регрессии приобрело следующий вид:

$$N_{\text{ЦНС-60}} = 0,26316 \times Q_{\Phi} + 0,0842, \quad (4)$$

где  $N_{\text{ЦНС 3-60}}$  - потребляемая мощность экспериментальной установкой, кВт.

Величина корреляционного соотношения в этом случае составила 0,95;

Для насоса ЦНС 3-45 уравнение регрессии (по характеристике) имеет вид

$$N_{\text{ЦНС3-45}} = 0,114963 \times Q_{\Pi} + 0,613949. \quad (5)$$

Величина коэффициента корреляции, который характеризует степень соответствия энергетических параметров насосного агрегата (с учетом гидравлического КПД) режиму сети, соответственно - степень его энергоэффективности, составила 0,99 - что соответствует работе насоса на расчетных режимах.

Таким образом, с реализацией проекта реконструкции насосной станции на ЦТП-3 установилась оптимальная зависимость между фактическим расходом воды в системе и потребляемой электрической мощностью насосной установкой.

Используя приобретенный опыт и определенные наработки в области создания, эксплуатации, оптимизации и обследования режимов работы насосных установок третьего подъема, следующим этапом начатых работ будет сравнительные технико-экономические испытания насосной установки, состоящей из трех насосов ЦН 7-50, которые являются разработкой ЗАО «НПО Гидромаш» (г. Сумы).

Подводя итоги, по первому этапу проделанной работы можно отметить следующее:

1 Было достигнуто сокращение объемов суточного энергопотребления в 8,99 раза. Таким образом, прямая экономия электроэнергии составила (при средней цене 1 кВт·ч - 28 коп) 84,0 грн/сутки. Сумма годовой экономии электроэнергии по ЦТП-3 составит около 30,7 тыс. грн.

2 Благодаря использованию динамических торцовых уплотнений в экспериментальной установке были устранены утечки воды через уплотнения. Годовая экономия в результате устранения утечек через уплотнения, при средней стоимости 1 м<sup>3</sup> воды - 1,65 грн, составит 1204,5 грн.

3 Капитальные затраты на изготовление и монтаж экспериментальной насосной установки составили порядка 30 тыс. грн при стоимости установок аналогичной конструкции зарубежных фирм-производителей «Wilo», «Dab» «Grundfoss» на украинском рынке от 60 тыс. грн.

4 Срок окупаемости проекта, реализованного на ЦТП-3, составит, с учетом только экономии электроэнергии, менее 12 месяцев, что ставит данный проект в ряд перспективных инвестиционных проектов.

5 Для анализа степени эффективности работы насосных установок, а также соответствия их рабочих параметров параметрам сети, можно

использовать методы статистического анализа, которые в первом приближении дают приемлемую точность вычислений. Исходными данными в этом случае является значение минимально достаточного напора, необходимое для вычисления теоретической величины удельного расхода, а также данные измерения фактического потребления воды ( $Q_{\text{ф}}$ ) в системе и потребляемой мощности (N) насосным агрегатом. Значение коэффициента корреляции, рассчитанного по методу наименьших квадратов, для характеристики насоса и всей насосной установки позволяет получить численное значение степени соответствия, а также величину отклонения значения удельного расхода от минимально возможного.

## SUMMARY

### PUMP PLANTS OF 3-D RECOVERY IN HOUSING AND COMMUNAL SERVICES

*V.V. Zinchenko, A.V. Nenyа, A.A. Rudenko\**

*Sumy State University;*

*\*SPO Hydromash (Sumy) CJSC*

*The possibilities of decrease of power consumption of water supplying by optimization of parameters of the pressure-raising pump plant according to the daily schedule of consumption of water are demonstrated on an example of a Sumy Central Thermal Point. A method of the analysis of level of power consumption of the pump equipment and conformity of its parameters of the network parameters is suggested.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башта Т.М., Руднев С.С. и др. Гидравлика, гидромашины, гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов / 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с. с ил.
2. Лищенко С.А. Регулирование работы насосов на водопроводных насосных станциях. – М.: Стройиздат, 1949. – 84 с.

**Зинченко В.В.**, научный сотрудник, СумГУ,

г. Сумы;

**Неня А.В.**, ассистент, СумГУ, г. Сумы;

**Руденко А.А.**, канд. техн. наук,

ЗАО НПО «Гидромаш», г.Сумы

*Поступила в редакцию 4 июня 2008 г.*