

УДК 621.65

**РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО
ПРОЕКТА НА НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ВОДОБОРОТНОГО ЦИКЛА
ХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Бойко В.С.,¹ доктор технических наук,
Сотник Н.И.,² кандидат технических наук,
Хованский С.А.³

1– Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев, пр. Победы, 37.

2-3 – Сумский государственный университет, г. Сумы, ул. Римского-Корсакова, 2.

E-mail: serg_83@ukr.net

The article presents the results of scientific and technical development, aimed at increasing improve the energy efficiency of the pumping station water circulation cycle chemistry-graduate of the company. The role of the water supply system in the regulation of volumes of water supplied in a wide range.

Key words: energy efficiency, water supply, pumping equipment.

Введение. Дальнейшая модернизация отраслей промышленности Украины, повышение ее конкурентоспособности на внешнем рынке в современных условиях определяется в значительной мере эффективностью использования энергии в основных технологических процессах [1]. Для современных систем питьевого водоснабжения населенных пунктов Украины и технического водоснабжения химических предприятий, горнообогатительных и металлургических комбинатов, существует необходимость и имеются возможности для внедрения прямых активных и структурных мероприятий по повышению энергоэффективности технологического процесса [2].

Прямая экономия энергоресурсов заключается в уменьшении потерь энергии на всех ступенях ее производства, передачи, преобразования и потребления, совершенствовании организации и управления производством, замене физически и морально устаревшего оборудования более современным, модернизации существующего оборудования при условии возможности достижения технических характеристик, соответствующих требованиям современного производства. Выбор путей прямой экономии энергии зависит как от ряда объективных, так и субъективных факторов. Основными объективными факторами являются тех-

ническое состояние технологического оборудования и финансовые возможности предприятия. Основные субъективные факторы – уровень технической и экономической грамотности руководства и персонала предприятия, которые могут не видеть проблему, или видеть ее, но не иметь представления о возможных путях решения [3]. Последнее особенно актуально, поскольку современное производство характеризуется изменчивостью его объемов, последовательной необходимостью гибкого реагирования на эти изменения всех компонентов производственного цикла.

Одним из основных элементов систем подачи воды является насосное оборудование насосных станций, оперирующее огромными потоками механической и электрической энергии привода в процессе ее превращения в гидравлическую энергию рабочей жидкости. Поэтому проблема повышения технической и экономической эффективности функционирования насосных станций приобретает особую актуальность.

Постановка задачи. На примере реализации проекта модернизации насосного оборудования насосной станции водоборотного цикла химического комбината показать возможности повышения энергоэффективности технического водоснабжения при минимальных капи-

тальных вложениях. Разработать рекомендации по организации технологического процесса водоснабжения, обеспечивающего высокую энергоэффективность при изменении объемов подачи воды в широких пределах. Проанализировать результаты реализации проекта.

Результаты исследования. Основной задачей проведения работ по модернизации являлась минимизация потребления электроэнергии насосными агрегатами станции при сохранении гидравлических характеристик системы в заданных пределах, снижения, по возможности, трудоемкости регулирования подачи воды насосной станцией. Научные исследования, результаты которых приведены в настоящей статье, осуществлены применительно к типовой насосной станции оборотного водоснабжения (ОНС) химического предприятия. Она укомплектована шестью серийными насосными агрегатами типа 24 НДС (с подачей в рабочей точке $Q = 5200 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напором $H = 51 \text{ м}$ при скорости вращения ротора $n = 600 \text{ об/мин}$) и предназначена для подачи технической воды на охлаждение технологических потребителей. Подобные насосные станции имеются на горнообогатительных и металлургических комбинатах, поэтому опыт реализации энергоэффективного проекта на химическом предприятии может быть распространен на предприятия других отраслей.

До начала выполнения работ по проекту ОНС подавала технологическим потребителям (10,0-23,0) тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ холодной технической воды. Малые объемы подач имели место в межремонтный период. Основной объем подач – (20,0-23,0) тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ технической воды. При этом подпор по всасу составлял (3,0-3,5) м, измеренное счетчиками среднесуточное потребление электроэнергии – 78059 кВт·ч, среднесуточная подача воды группой насосных агрегатов по показаниям расходомеров – 509237,4 $\text{м}^3/\text{ч}$. Энергетическая эффективность [2] системы водоснабжения предприятия, рассчитанная как отношение среднесуточного значения

потребления электроэнергии к среднесуточному объему подачи воды – 0,15328 кВт·ч/ м^3 . Для осуществления нормального технологического процесса давление на входе в цех технологических потребителей должно равняться 3,0 кгс/см² с допуском, не превышающем 0,1 кгс/см². Для этого в напорном коллекторе насосной станции необходимо поддерживать давление 3,8...4,0 кгс/см² во всем диапазоне изменения объемов подачи воды.

Подача воды потребителям от насосной станции производилась по двум трубопроводам диаметром 1400 мм. Количество одновременно работающих насосных агрегатов принималось исходя из потребностей технологического процесса и непрерывности подачи воды с заданными гидравлическими параметрами ($P = \text{const}$, $Q = \text{var}$) потребителям. Регулирование объемов подаваемой воды достигалось за счет изменения количества параллельно работающих насосных агрегатов и дросселированием в системе напорных трубопроводов. В соответствии с требованиями технического задания на работу, после модернизации насосных агрегатов технические характеристики режима водоснабжения технологических потребителей не должны измениться, также не должна уменьшиться надежность технологического процесса. Указанные требования должны выдерживаться не только после осуществления проекта, но и на стадии его реализации, когда модернизированные насосные агрегаты будут работать параллельно с не модернизированными.

Проведенные исследования показали, что для достижения максимального объема подачи воды потребителям до 23 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ при давлении 3,8...4,0 кгс/см² в напорном коллекторе с учетом потери давления в системе водоснабжения, необходимо разработать проточную часть модернизированного насосного агрегата на параметры: $Q = 5500 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H = 38 \text{ м}$.

Для анализа режима работы системы водоснабжения как до модернизации насосных агрегатов, так и после, использо-

валось объектно-ориентированное моделирование. Объектно-ориентированная модель системы водоснабжения (рис 1) включает конфигурацию гидравлической сети с указанием диаметров и длин отдельных участков, геодезических отметок, местных сопротивлений элементов, шероховатостей внутренних поверхностей трубопроводов. Модель также позволяет определить рабочую мощность электродвигателей и расход электроэнергии на подачу 1 м³ воды.

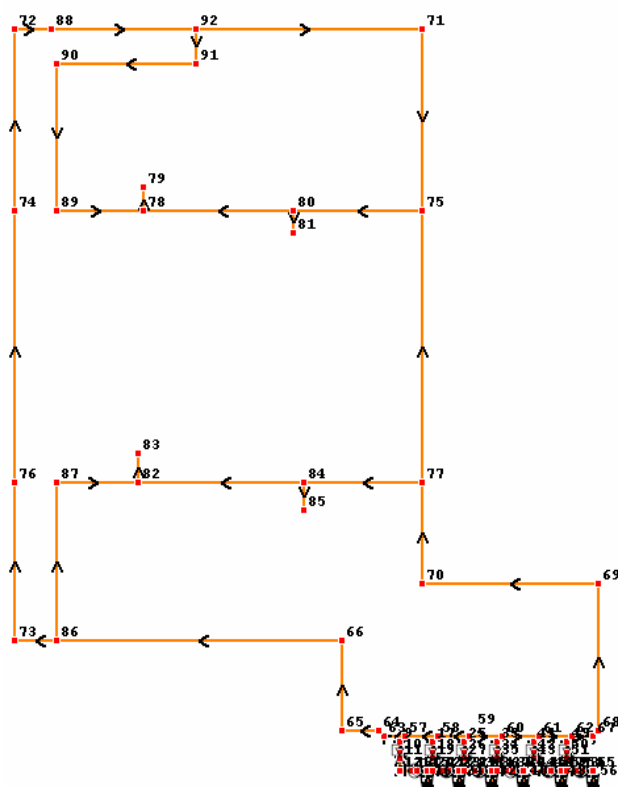


Рис. 1

Для анализа режимов работы исследуемой системы водоснабжения в модель закладывались как стандартные Q - H характеристики насоса 24 НДС с числом оборотов ротора $n = 600$ об/мин (рис. 2), так и характеристики модернизированных насосных агрегатов (рис. 3). До начала проведения работ по проекту диапазон предпочтительных подач (20,0-23,0 тыс. м³/ч), зафиксированный в техническом задании на работу, обеспечивался четырьмя типовыми насосными агрегатами типа 24 НДС. При этом, как показал анализ архивных материалов, реально режимов работы насосной станции с подачей

воды 23 тыс. м³/ч не наблюдалось.

Моделирование возможных вариантов работы группы модернизированных насосных агрегатов проводилось исходя из полного обеспечения потребителей водой во всем диапазоне предпочтительных подач при значении давления воды в напорном коллекторе 3,8...4,0 кгс/см².

Вариант 1 предусматривал обеспечение требований технологического процесса параллельной работой четырех модернизированных насосных агрегатов (НА). В табл. 1 представлены результаты моделирования: подача насосных агрегатов (Q), давление в коллекторе ($P_{кол}$), количество работающих насосов ($n_{раб}$), удельная энергоёмкость работающих насосов (EE).

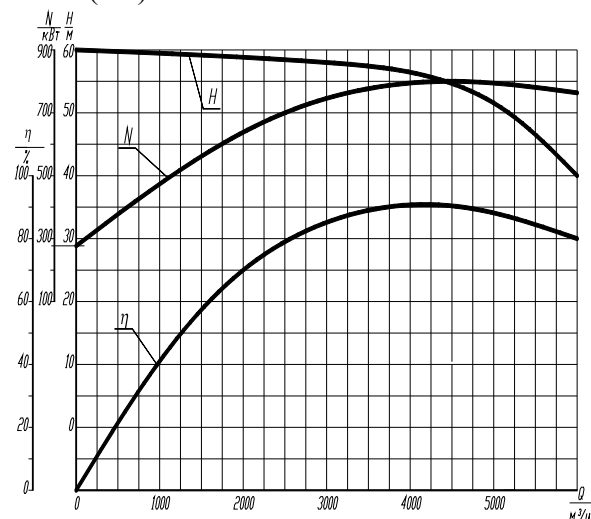


Рис. 2

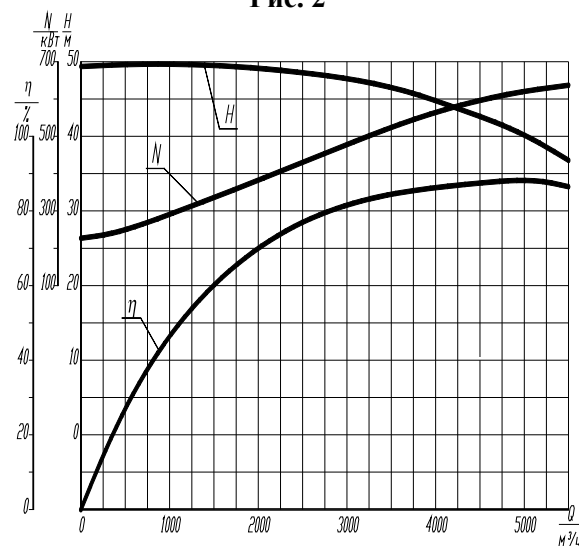


Рис. 3

В работе по варианту 1 требования технологического процесса обеспечиваются полностью при объемах подачи технической воды до 22700 м³/ч при высокой энергоэффективности системы. Увеличение объемов подачи приводит к уменьшению давления в напорном коллекторе, которое становится ниже оговоренного техническим заданием.

Результаты анализа режима работы по варианту 2, предусматривающему водоснабжение пятью модернизированными насосными агрегатами, приведены в табл. 2.

Таблица 1

Q, (м ³ /ч)	n _{раб.} , (шт.)	P _{кол.} , (кгс/см ²)	ЕЕ, (кВт·ч/ м ³)
20 000	4м	4,0	0,1299
21 000	4м	3,9	0,1243
21 500	4м	3,8	0,1212
22 000	4м	3,8	0,1178
23 000*	4м	3,75	-

* - необходимое давление у потребителя не обеспечивается

Таблица 2

Q, (м ³ /ч)	n _{раб.} , (шт.)	P _{кол.} , (кгс/см ²)	ЕЕ, (кВт·ч/ м ³)
20 000	5м	4,0	0,1391
21 000	5м	3,94	0,1376
21 500	5м	3,8	0,1355
22 000	5м	4,0	0,1294
23 000	5м	4,0	0,1304

Такой режим работы является малоэффективным, поскольку в системе наблюдается избыточное давление, которое регулируется напорными задвижками. По своим экономическим показателям он уступает режиму работы по варианту 1.

Возможен также вариант работы системы водоснабжения (вариант 3), в котором подача воды обеспечивается тремя модернизированными агрегатами (с номинальными параметрами в рабочей точке Q = 5500 м³/ч, H = 38 м) и одним не модернизированным насосным агрегатом 24 НДС (с номинальными параметрами Q = 5200 м³/ч, H = 51 м). Результаты моделирования этого режима работы приведены в табл. 3. Как видно, этот вариант по показателям энергоэффективности лучше предыдущего, но в нем не обеспечивают-

ся требования технического задания по давлению в напорном коллекторе в режиме максимальной подачи. Поэтому все дальнейшие исследования проведены применительно к режиму работы системы водоснабжения по варианту 1.

Таблица 3

Q, (м ³ /ч)	n _{раб.} , (шт.)	P _{кол.} , (кгс/см ²)	ЕЕ, (кВт·ч/ м ³)
21 500	3м+1	3,79	0,1274
22 000	3м+1	3,93	0,1251
23 000	3м+1	3,72	0,1187

Результаты моделирования подтвердили целесообразность использования в дальнейшей работе системы водоснабжения насосных агрегатов 24 НДС, модернизированных на параметры в рабочей точке Q=5500 м³/ч, H=38 м при n= 600 об/мин. Указанные параметры достигнуты путем модернизации роторов насосов без снятия корпусных деталей насосов с фундамента, без изменений конструкции подшипниковых узлов, узлов концевых уплотнений, муфт соединительных, без замены электродвигателей. Такие параметры насосов позволяют также использовать их с максимально возможной эффективностью при организации совместной параллельной работы на сеть. Кроме того, модернизация всех насосов на одинаковые параметры упрощает техническое обслуживание, ремонты, решает проблему взаимозаменяемости и резерва оборудования без изменения уровня энергоэффективности работы насосной станции.

Дальнейшие исследования энергоэффективности режимов подачи воды потребителю проводились в диапазоне изменения подачи Q в пределах от 10 до 26,5 тыс. м³/ч. Полученные результаты подтвердили возможность работы системы водоподдачи в указанном диапазоне изменения подачи с заданными показателями энергоэффективности. При этом режимы подачи организовывались таким образом, чтобы в любой момент времени в группе работающих насосных агрегатов только на одном (любом) из них регулирование производилось путем дросселирования потока на выходе из насоса арматурой. За остальными насосными агре-

гатами задвижки были открыты полностью.

Графики удельного расхода электроэнергии (ЕЕ) модернизированными насосными агрегатами и диапазоны совместной работы групп насосных агрегатов ОНС приведены на рис. 4.

Необходимо обратить внимание на тот факт, что удельный расход на перекачивание 1 м^3 воды (энергоэффективность) зависит от объемов подачи и количества одновременно работающих насосных агрегатов. Видимые «пики» изменения удельного расхода электроэнергии (см. рис. 4) можно «сглаживать» применением плавного регулирования частоты вращения ротора насоса, но это сопряжено на действующих объектах с проблемами технического и экономического характера.

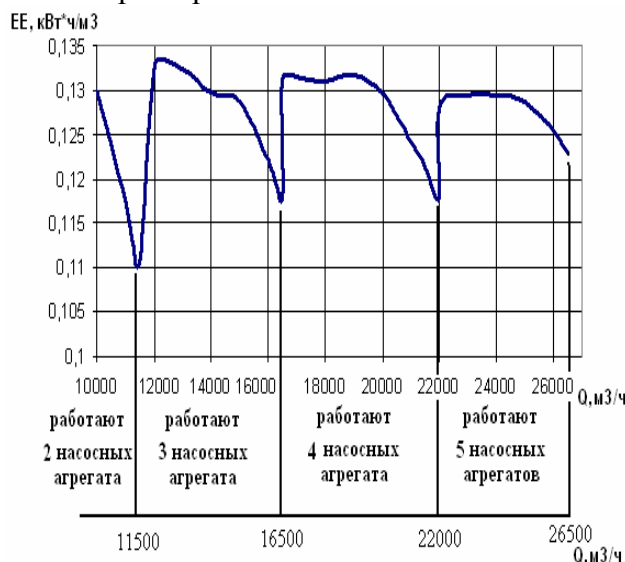


Рис. 4

Согласно выводам, полученных в работах [4, 5], посвященной выбору рационального способа регулирования подачи насосным агрегатом, не следует увлекаться установкой регулируемых электроприводов на магистральных трубопроводах и гидросетях, где поддерживается постоянство напора или невысокий диапазон регулирования подачи. Экономия электроэнергии при скоростном регулировании в лучшем случае составляет несколько процентов по сравнению с регулированием с помощью задвижки. Исходя из этого, возможна дополнительная экономия электроэнергии при использо-

вании системы частотного регулирования скорости вращения вала электродвигателя может быть принята порядка 4%, что может составить $2873899 \cdot 0,04 = 114956$ грн ежегодно. При этом возможные дополнительные затраты могут быть оценены исходя из стоимости дополнительного оборудования, его монтажа и наладки (примерно 100 долл. США за 1 кВт преобразуемой мощности) в объеме 800 тыс. грн, без учета стоимости проектных работ (порядка 80 тыс. грн). Экономический эффект мероприятия за расчетный период службы частотных регуляторов (8 лет), рассчитанный на основе прямой экономии энергетических затрат, капитальных затрат, а также с учетом фактора времени (норматив дисконтирования принят на уровне 15%) и приведенный к текущему моменту времени, составит 39,647 тыс. грн. Таким образом, коэффициент экономической эффективности равен 0,0518, т.е. вложение 1 гривны в мероприятие с учетом фактора времени обеспечивает получение только 5,18 копеек чистой прибыли за весь период его реализации, а срок окупаемости может составить 7,65 лет.

Сравнение затрат и дохода от реализации проекта указывает на его привлекательность. В результате реализации энергосберегающего проекта модернизации существующего насосного оборудования ОНС и организации режима водоподдачи:

- среднесуточное потребление электроэнергии группой насосных агрегатов по показаниям счетчиков составило 63 813 кВт·ч;

- средние удельные затраты электроэнергии на 1 м^3 перекачиваемой воды равнялись $0,125 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3$.

Таким образом, вследствие проведенной модернизации насосного оборудования на станции ОНС потребление электроэнергии снизилось на 18,25% при стабилизации режима подачи воды и давления в магистрале. Суточное энергопотребление насосными агрегатами уменьшилось на 14245,9 кВт·ч, что соответст-

вует годовой экономии финансовых средств в размере:

$$\mathcal{E} = 78059,6 \cdot 0,1825 \cdot 365 \cdot 0,5527 = 2873899 \text{ грн.}$$

Здесь учтено, что на момент подписания акта выполненных работ по договору тариф на электроэнергию для предприятия составлял 0,5527 грн/ кВт·ч.

Выводы

1. Модернизация насосных агрегатов проведена без снятия их с фундаментов, без замены электродвигателей, путем замены роторов насосов. Режим подачи воды от насосной станции осуществляется параллельной работой модернизированных насосных агрегатов. Регулирование режима подачи ОНС организовано путем изменения количества работающих насосных агрегатов и регулирования напорной задвижкой за одним из насосов.

В рассмотренном проекте применение регулирования подачи воды с помощью частотных преобразователей не целесообразно из-за высокой стоимости оборудования и больших капитальных затрат на их внедрение.

2. Прямая экономия затрат предприятия на электроснабжение насосной станции за счет модернизации четырех насосных агрегатов холодной воды и внедрения разработанных рекомендаций по энергоэффективному режиму водоснабжения технологических потребителей составила 18,25% от базовой величины потребления электроэнергии (78059,6 кВт·ч/сутки), что соответствует экономии 2873899 грн в год.

3. Уровень текущих затрат на обслуживание насосного оборудования не изменился, в то же время уменьшилась трудоемкость регулирования подачи насосной станции, так как после модернизации регулирование гидравлических характеристик осуществляется только на одном насосе, а не на нескольких, как это имело место ранее.

4. Модернизация насосных агрегатов позволила уменьшить напор на их выходе, что обеспечило снижение динамиче-

ских нагрузок на основные элементы насосов (вал, сальники, подшипники, корпус) и удлинение срока обслуживания на 15%. После модернизации нормативный срок службы ротора увеличился до 8 лет, что эквивалентно экономии затрат на ремонты и обновление насосного оборудования в размере 75 тыс. грн за весь срок его службы.

5. Анализ графиков финансирования работ и экономии, получаемой от снижения энергопотребления при реализации проекта показывает, что затраты окупаются в период внедрения проекта, поэтому имеется возможность уменьшения объема первоначальных вложений за счет последующей “самоокупаемости” энергосберегающих мероприятий.

1. Энергобереження – пріоритетний напрям державної політики України / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк [відповідальний редактор А.К. Шидловський]. – К: УЕЗ, 1998. – 506 с.

2. Бойко В.С. Підвищення енергоефективності водопостачання збагачувальної фабрики гірничо-збагачувального комбінату / В.С. Бойко, М.М. Юрченко, М.І. Сотник, С.О. Хованський // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2010. – № 4/(63). – Частина 3. – С. 94 – 97.

3. Бойко В.С. Узагальнена оцінка економічності системи водопостачання / В.С. Бойко, М.І. Сотник, С.О. Хованський // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Силова електроніка та енергоефективність. – 2009. – Частина 3. – С. 46 – 51.

4. Бешта А.С. Выбор рационального способа регулирования подачи воды насосным агрегатом / А.С. Бешта, А.А. Азюковский // Технічна електродинаміка. – 2009. – №3. – С. 65-71.

5. Бойко В.С. Підвищення енергетичної ефективності водопостачання локального об'єкту / В.С. Бойко, М.І. Сотник, С.О. Хованський // Промислова гідравліка і пневматика. – 2008. – № 1 (19). – С. 100 – 102.