

УДК 621.65

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПРОЕКТА НА НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ВОДООБОРОТНОГО ЦИКЛА

В.С. Бойко

Доктор технических наук, профессор
Кафедра теоретической электротехники
Национальный технический университет Украины
„Киевский политехнический институт”
пр. Перемоги, 37, г. Киев, 03056
Круг научных интересов: проблемы рационального
использования энергетических ресурсов
E-mail: Serg_83@ukr.net

Н.И. Сотник

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра прикладной гидроаэромеханики*

И.Н. Сотник

Доктор экономических наук, доцент
Кафедра экономики*

*Сумской государственной университет
ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, 40007

У статті розглянуті результати розробки і процесу впровадження енергозберігаючих заходів на насосній станції водооборотного циклу хімічного підприємства, показані економічні аспекти організації проведення робіт

Ключові слова: енергозбереження, водопостачання, насосне обладнання

В статье рассмотрены результаты разработки и процесса внедрения энергосберегающих мероприятий на насосной станции водооборотного цикла химического предприятия, показаны экономические аспекты организации проведения работ

Ключевые слова: энергосбережение, водоснабжение, насосное оборудование

In the article the results of development and implementation of energy saving measures at pumping station water circulation cycle of the chemical enterprise, the economic aspects of the organisation of work

Key words: energy efficiency, water supply, pumping equipment

1. Введение

Обеспечение потребителей необходимым количеством воды с заданными количественными, качественными и энергетическими параметрами является энергоемким процессом, имеющим место в различных отраслях отечественной промышленности. В этом процессе наряду с рядом технических проблем существует проблема снижения потребления электроэнергии, актуальность которой растет вместе с непрерывным повышением тарифов на энергоносители [1]. Поскольку современное производство характеризуется изменчивостью его объемов, последовательной необходимостью гибкого реагирования на эти изменения всех компонентов производственного цикла, организация технологического процесса водоснабжения является многокомпонентной задачей и рационализация использования энергии зависит от оптимальной совокупности составляющих системы водоподачи.

Технологический процесс водоснабжения на предприятиях далеко не всегда характеризуется ра-

циональным использованием электроэнергии из-за технического состояния действующего оборудования насосных станций, одним из основных элементов которых является насосные агрегаты. Их замена более совершенными устройствами или модернизация существующих является трудоемким и финансово затратным мероприятием, реализация которого зачастую сдерживается большим сроком окупаемости. Причем здесь важную роль играют не только стоимостные показатели проектных изысканий, вложенных в основные фонды, монтажные и наладочные работы, а также продолжительность и техническая грамотность организации процесса реализации проекта.

2. Постановка задачи

На примере организации осуществления проекта модернизации насосного оборудования насосной станции водооборотного цикла (ВОЦ) химического комбината показать возможности повышения энерго-

эффективности [2] технического водоснабжения при минимальных капитальных вложениях, провести технико-экономическое обоснование реализации проекта и анализ результатов внедрения.

Основной задачей проведения работ по модернизации являлась минимизация потребления электроэнергии насосными агрегатами станции при сохранении гидравлических характеристик системы в заданных пределах, снижение трудоемкости регулирования подачи воды насосной станцией и сохранение существующего уровня надежности технологического процесса.

3. Основные результаты исследования

Насосная станция оборотного водоснабжения, на которой установлены шесть серийных насосных агрегатов типа 24 НДС, осуществляет подачу холодной технической воды для охлаждения технологических потребителей. Насосные агрегаты холодной воды (ХВН), трубопроводы, арматура и другое вспомогательное оборудования размещены в отдельном здании. До реализации проекта по модернизации насосных агрегатов, работа ВОЦ характеризовалась следующими показателями:

- максимальный объем подачи воды на производство – 23 тыс. м³/ч;
- минимальный объем подачи воды на производство – 5,2 тыс. тыс. м³/ч;
- среднесуточное потребление электроэнергии группой насосных агрегатов по замерам электросчетчика – 78 059 кВт·ч;
- среднесуточная подача воды группой насосных агрегатов по показаниям счетчиков – 509237,4 м³/ч;
- удельный показатель эффективности работы группы насосов составил 0,15328 кВт·ч/ м³ воды;
- давление в напорном коллекторе насосной станции – 3,8...4,0 кгс/см²;
- подпор по всасу – 0,30 ... 0,35 кгс/см².

Подача воды потребителям осуществлялась группой насосных агрегатов типа 24 НДС (с подачей в рабочей точке $Q = 5200$ м³/ч и напором $H = 51$ м при скорости вращения ротора $n = 600$ об/мин) от общего напорного коллектора по двум водоводам (левый и правый) диаметром 1400 мм. Количество одновременно работающих насосных агрегатов выбиралось исходя из потребностей технологического процесса и непрерывности подачи воды с заданными гидравлическими параметрами ($P = \text{const}$, $Q = \text{var}$) потребителей. Изменение объемов подаваемой воды достигалось за счет изменения количества параллельно работающих насосных агрегатов и дросселированием в системе напорных трубопроводов. Допускаемое отклонение давления на входе в цех технологических потребителей жестко нормировано и не должно превышать 0,1 кгс/см².

Основными условиями работы насосной станции после модернизации, согласно требований технического задания, были:

- максимальный объем подачи воды на производство – 23 тыс. м³/ч;
- минимальный объем подачи воды на производство – 5,2 тыс. тыс. м³/ч;

- давление в напорном коллекторе насосной станции – 3,8...4,0 кгс/см².

Предусматривалась возможность использования в период внедрения проекта параллельной работы модернизированных и не модернизированных насосных агрегатов.

Мониторинг режима работы насосной станции до начала выполнения работ показал, что среднесуточная подача насосной станцией холодной технической воды составляет 509237,4 м³. Исходя из этих данных, а также учитывая возможные режимы работы насосных агрегатов, оптимальной является параллельная работа группы 4-х модернизированных насосных агрегатов с общей часовой подачей 21218 м³, что соответствует средней подаче одного насосного агрегата – 5304,5 м³/ч. Однако при этом не обеспечивается требование технического задания по максимальной подаче воды потребителям до 23000 м³/ч при давлении 3,8...4,0 кгс/см² в напорном коллекторе. Расчеты показали, что с учетом потери давления в системе водоснабжения при различных объемах подачи технической воды необходима разработка проточной части модернизированного насосного агрегата на параметры: $Q = 5500$ м³/ч, $H = 38$ м. Исследования работы системы водоснабжения проводилось на ее объектно-ориентированной математической модели, куда вводились как стандартные характеристики Q и H насоса 24 НДС с числом оборотов ротора $n = 600$ об/мин (рис. 1) так и характеристики модернизированных насосных агрегатов (рис. 2).

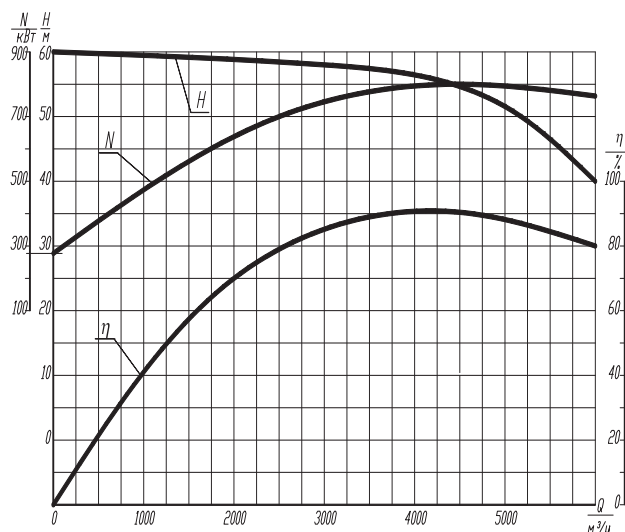


Рис. 1. Энергетические характеристики не модернизированного насоса 24 НДС (с параметрами в рабочей точке $Q = 5200$ м³/ч, $H = 51$ м)

Первым модернизировался насосный агрегат ХВН-6. Как и предусматривалось проектом, он включен в эксплуатацию на параллельную работу с не модернизированными насосными агрегатами ХВН-3, ХВН-4 и ХВН-5 вместо насосного агрегата ХВН-2.

Режим работы насосной станции до включения в работу первого модернизированного насосного агрегата имел техническую характеристику, приведенную в табл. 1.

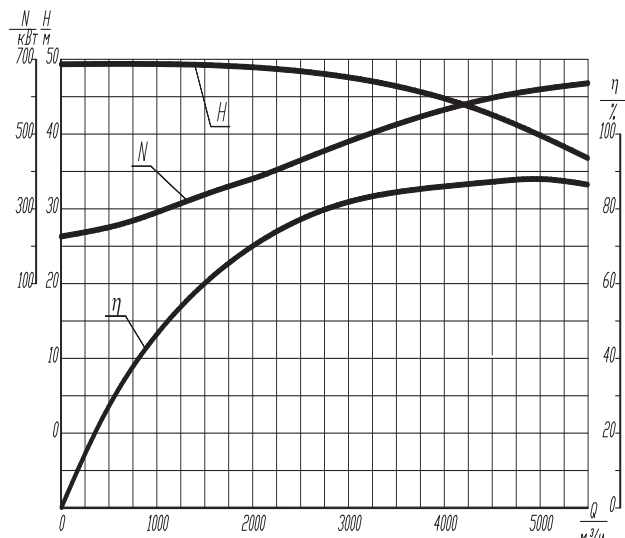


Рис. 2. Энергетические характеристики модернизированного насоса 24 НДС (с параметрами в рабочей точке $Q = 5500 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H = 38 \text{ м}$)

Таблица 1

Показатели режима работы насосной станции до модернизации (по результатам инструментальных замеров)

Работающий насосный агрегат	ХВН-2	ХВН-3	ХВН-4	ХВН-5
Давление перед напорной задвижкой, кгс/см ²	4,7	5,2	5,6	5,4
Давление в напорном коллекторе, кгс/см ²	3,86	3,86	3,86	3,86
Ток статора приводного электродвигателя, А	85	74	77	74

Подача технической воды: левый водовод – 10416 м³/час; правый водовод – 10304 м³/час; суммарная подача – 20720 м³/час. При этом давление на входе в цех технологических потребителей составило 2,9 кгс/см².

Для проверки адекватности математической объектно-ориентированной модели реальной системе водоснабжения ВОЦ от насосной станции до цеха технологических потребителей, был смоделирован режим работы, имевший место перед пуском первого модернизированного насосного агрегата ХВН-6м. Результаты расчетов, полученные на математической модели, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели режима работы насосной станции до модернизации (по результатам моделирования)

Работающий насосный агрегат	ХВН-2	ХВН-3	ХВН-4	ХВН-5
Давление перед напорной задвижкой, кгс/см ²	4,31	4,81	5,21	5,01
Давление в напорном коллекторе, кгс/см ²	3,81	3,81	3,81	3,81

Подача воды насосными агрегатами (суммарная подача – 20720 м³/час.): ХВН-2 – 6050,8 м³/час; ХВН-3 – 5284,4 м³/час; ХВН-4 – 4470,3 м³/час; ХВН-5 – 4914,5 м³/час.

Как видим, совпадение результатов моделирования и инструментальных замеров достаточно хорошее. Некоторое отклонение давления перед напорной задвижкой объясняется тем, что характеристика насоса задается в математической объектно-ориентированной модели всего тремя точками.

Режим работы насосной станции ВОЦ после включения в работу первого модернизированного насосного агрегата представлен в табл. 3.

Таблица 3

Показатели режима работы насосной станции после модернизации первого насосного агрегата (по результатам инструментальных замеров)

Работающий насосный агрегат	ХВН-6м	ХВН-3	ХВН-4	ХВН-5
Давление перед напорной задвижкой, кгс/см ²	4,1	4,9	5,5	5,4
Давление в напорном коллекторе, кгс/см ²	3,85	3,85	3,85	3,85
Ток статора приводного электродвигателя, А	64	81	77	74

Подача технической воды: левый водовод – 10416 м³/час; правый водовод – 10253 м³/час; суммарная подача – 20669 м³/час. Давление на входе в цех технологических потребителей – 2,8 кгс/см².

Из сравнения показателей работы насосной станции видно, что после включения в работу первого модернизированного насосного агрегата энергопотребление группой насосных агрегатов упало на 4,5% при практически неизменных показателях расхода и давления в сети.

На момент перехода насосной станции к параллельной работе двух модернизированных и двух не модернизированных насосных агрегатов, в работе находились насосные агрегаты ХВН-1, ХВН-3, ХВН-4 и ХВН-6м.

Таблица 4

Показатели режима работы насосной станции до модернизации второго насосного агрегата (по результатам инструментальных замеров)

Работающий насосный агрегат	ХВН-1	ХВН-3	ХВН-4	ХВН-6м
Давление перед напорной задвижкой, кгс/см ²	4,7	4,9	5,6	4,5
Давление в напорном коллекторе, кгс/см ²	4,11	4,11	4,11	4,11
Ток статора приводного электродвигателя, А	87	81	76	60

Подача технической воды: левый водовод – 10628 м³/час; правый водовод – 10926 м³/час; суммарная подача – 21554 м³/час. Давление на входе в цех технологических потребителей – 2,9 кгс/см². В соответствии с календарным планом проекта второй модернизированный насосный агрегат ХВН-2м включался в работу вместо насосного агрегата ХВН-4.

Таблица 5

Показатели режима работы насосной станции после модернизации второго насосного агрегата (по результатам инструментальных замеров)

Работающий насосный агрегат	ХВН-1	ХВН-3	ХВН-2м	ХВН-6м
Давление перед напорной задвижкой, кгс/см ²	4,7	4,9	4,3	4,4
Давление в напорном коллекторе, кгс/см ²	4,08	4,08	4,08	4,08
Ток статора приводного электродвигателя, А	87	81	62	61

Подача технической воды: левый водовод – 10682 м³/час; правый водовод – 11013 м³/час; суммарная подача – 21695 м³/час. Давление на входе в цех технологических потребителей – 2,9 кгс/см².

Из сравнения показателей работы насосной станции, приведенных в табл. 4 и 5, видно, что после включения в работу второго модернизированного насосного агрегата энергопотребление группой насосных агрегатов уменьшилось на 4,3% при практически неизменных показателях расхода и давления в сети.

На момент перехода насосной станции к параллельной работе трех модернизированных и одного не модернизированного насосного агрегата, в работе находились насосные агрегаты ХВН-1, ХВН-2м, ХВН-3 и ХВН-6м.

Таблица 6

Показатели режима работы насосной станции до модернизации третьего насосного агрегата (по результатам инструментальных замеров)

Работающий насосный агрегат	ХВН-1	ХВН-2м	ХВН-3	ХВН-6м
Давление перед напорной задвижкой, кгс/см ²	4,6	4,4	5,4	4,4
Давление в напорном коллекторе, кгс/см ²	4,16	4,16	4,16	4,16
Ток статора приводного электродвигателя, А	85	62	75	62

Подача технической воды: левый водовод – 10017 м³/час; правый водовод – 10407 м³/час; суммарная подача – 20424 м³/час. Давление на входе в цех технологических потребителей – 3,0 кгс/см².

Таблица 7

Показатели режима работы насосной станции после модернизации третьего насосного агрегата (по результатам инструментальных замеров)

Работающий насосный агрегат	ХВН-1	ХВН-2м	ХВН-5м	ХВН-6м
Давление перед напорной задвижкой, кгс/см ²	4,5	4,4	4,3	4,4
Давление в напорном коллекторе, кгс/см ²	4,15	4,15	4,15	4,15
Ток статора приводного электродвигателя, А	84	63	61	60

Подача технической воды: левый водовод – 10017 м³/час; правый водовод – 10407 м³/час; суммарная подача – 20424 м³/час. Давление на входе в цех технологических потребителей – 3,0 кгс/см².

Из сравнения показателей работы насосной станции, приведенных в табл. 6 и 7, видно, что после включения в работу третьего модернизированного насосного агрегата энергопотребление группой насосных агрегатов снизилось на 5,6% при практически неизменных показателях расхода и давления в сети.

На момент перехода насосной станции к параллельной работе четырех модернизированных насосных агрегатов, в работе находились насосные агрегаты ХВН-2м, ХВН-3, ХВН-5м и ХВН-6м.

Таблица 8

Показатели режима работы насосной станции до модернизации четвертого насосного агрегата (по результатам инструментальных замеров)

Работающий насосный агрегат	ХВН-2м	ХВН-3	ХВН-5м	ХВН-6м
Давление перед напорной задвижкой, кгс/см ²	4,2	5,2	4,1	4,3
Давление в напорном коллекторе, кгс/см ²	3,94	3,94	3,94	3,94
Ток статора приводного электродвигателя, А	64	75	61	63

Подача технической воды: левый водовод – 10313 м³/час; правый водовод – 10203 м³/час; суммарная подача – 20516 м³/час. Давление на входе в цех технологических потребителей – 2,9 кгс/см².

Таблица 9

Показатели режима работы насосной станции после модернизации четвертого насосного агрегата (по результатам инструментальных замеров)

Работающий насосный агрегат	ХВН-1м	ХВН-2м	ХВН-5м	ХВН-6м
Давление перед напорной задвижкой, кгс/см ²	4,2	4,2	4,1	4,3
Давление в напорном коллекторе, кгс/см ²	3,97	3,97	3,97	3,97
Ток статора приводного электродвигателя, А	65	64	61	62

Подача технической воды: левый водовод – 10304 м³/час; правый водовод - 10253 м³/час; суммарная подача – 20557 м³/час. Давление на входе в цех технологических потребителей – 2,9 кгс/см².

Из сравнения показателей работы насосной станции, приведенных в табл. 8 и 9, видно, что после включения в работу четвертого модернизированного насосного агрегата энергопотребление группой насосных агрегатов снизилось на 4,2% при практически неизменных показателях расхода и давления в сети.

Модернизацией четвертого насосного агрегата и введением его в эксплуатацию завершены работы по реализации проекта, предусматривающего повышение энергоэффективности [2] насосного оборудования насосной станции и всей системы оборотного водоснабжения предприятия.

Рассмотрим экономический аспект реализации проекта.

Капитальные затраты по реализации проекта составили около 600 тыс. грн, в том числе стоимость проектных работ – 100 тыс. грн. Финансирование проекта проводилось поэтапно в течение 6 месяцев.

График финансирования проекта по модернизации насосного оборудования и получаемая экономия от работы модернизированных насосных агрегатов в процессе выполнения работ отражены в табл. 10.

Таблица 10

Показатели объемов финансирования проекта и получаемой экономии (в грн.) в период выполнения работ

I. Затраты на реализацию проекта (тыс. грн.)							
Месяцы реализации проекта	I	II	III	IV	V	VI	VII опытн. экспл.
Проектные и подготовительные работы	100	200					
II. Модернизация насосного оборудования(тыс. грн.)							
ВН-6			75				
ВН-2				75			
ВН-3					75		
ВН-5						75	
III. Экономия, получаемая от снижения энергопотребления при реализации проекта (тис. грн.)							
ВН-6			58,244	58,244	58,244	58,244	58,244
ВН-2				55,654	55,654	55,654	55,654
ВН-3					72,482	72,482	72,482
ВН-5						54,361	54,361
Сумма			58,244	113,90	186,38	240,74	240,74

Получаемая экономия от снижения энергопотребления в период внедрения мероприятий составила 840 тыс. грн. без НДС. При привлечении инновационных денежных средств для реализации проекта в объеме 600 тыс. грн. под банковский процент 20% годовых сроком на 7 месяцев (продолжительность инновационного цикла по проекту) сумма возврата средств составляет: $600000 + 600000 \cdot \frac{0,2}{12} \cdot 7 = 670000$ грн.

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

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

– среднее удельное потребление электроэнергии на 1 м³ перекачиваемой воды равнялись 0,125 кВт·ч/м³.

Таким образом, вследствие проведенной модернизации насосного оборудования на станции ВОЦ среднесуточное удельное потребление электроэнергии на 1 м³ перекачиваемой воды снизились с 0,153 до 0,125 кВт·ч/м³, или на 18,25% при стабилизации режима подачи воды и давления ее в магистрали и на входе в цех технологических потребителей. Суточное потребление электроэнергии приводными электродвигателями насосных агрегатов уменьшилось на 14245,9 кВт·ч.

Приведенные данные подтверждают высокую эффективность использования в работе системы оборотного водоснабжения предприятия насосных агрегатов типа 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 максимальной 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.

4. Оценка экономической эффективности проекта

Основные технико-экономические результаты проекта:

1). В процессе проведения модернизации в работе насосной станции использовалось резервное насосное оборудование с аналогичными техническими характеристиками, поэтому предприятие не понесло дополнительных финансовых потерь, связанных с возможным изменением режима работы ВОЦ. После модернизации первого насоса энергопотребление всей системы водоснабжения снизилось на 4,5%, второго – на 4,3%, 3-го – на 5,6%, 4-го – на 4,2%. После завершения модернизации четырех насосов и включения их в работу общее снижение потребления электроэнергии по насосной станции ВОЦ составило 18,25%.

2). Уровень потерь воды в системе после реализации проекта остался неизменным.

3). Уровень текущих затрат на обслуживание насосного оборудования не изменился, в то время как уменьшилась трудоемкость регулирования объемов подачи технической воды насосной станцией и давления в напорном коллекторе, поскольку после модернизации регулирование указанных гидравлических характеристик осуществляется только одним насосом, а не всеми работающими, как это имело место ранее.

4). Прямая экономия затрат предприятия на электроснабжение насосной станции за счет снижения потребления электроэнергии на 18,25% от

базовой величины (78059,6 кВт·ч/сутки) при расчетной цене за электроэнергию для предприятия 0,5527 грн/кВт·ч без НДС, обеспечило годовую экономию финансовых средств в размере: $\Delta = 78059,6 \cdot 0,1825 - 365 \cdot 0,5527 = 2873899$ грн.

5). Модернизация насосного оборудования позволила уменьшить давление на выходе насосов перед напорной задвижкой, что обеспечило снижение динамических нагрузок на их основные элементы (вал, сальники, подшипники, корпус) и удлинение срока службы оборудования на 15%. Таким образом, 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.

6). Капитальные затраты на модернизацию 4-х насосов (замену роторов на новые с модернизированными рабочими колесами (гидравлическая часть)) составили в среднем 600 тыс. грн.

7). Срок окупаемости проекта модернизации насосного оборудования на ВОЦ, рассчитанный на основе прямой экономии электроэнергии, составляет $600000 / 2873899 \cdot 12 = 2,5$ месяца, подтверждая чрезвычайно высокую экономическую эффективность проекта и организации его реализации.

8). Итоговый экономический эффект за расчетный период функционирования модернизированного насосного оборудования (8 лет), рассчитанный на основе прямой экономии энергетических затрат, расходов на ремонты оборудования, капитальных затрат, а также с учетом фактора времени (норматив дисконтирования принят на уровне 15%) и приведенный к текущему моменту времени, составит 12398,9 тыс. грн.

При этом коэффициент экономической эффективности равен 23,76, т.е. вложение 1 гривны в проект с учетом фактора времени обеспечивает получение 23,76 грн. чистой прибыли за весь период его реализации.

5. Выводы

1. Проведение научно-технической работы и внедрение разработанных на ее основе энергосберегающих мероприятий в системе оборотного водоснабжения химического предприятия дало возможность сэкономить 5199745 кВт·ч электроэнергии за год, что при существующем тарифе на электроэнергию составляет 2 873 899 грн.

2. Модернизация насосных агрегатов проведена без снятия насосов с фундаментов, без замены электродвигателей, путем замены роторов насосов.

3. Режим водоподдачи насосной станцией обеспечивается параллельной работой модернизированных насосных агрегатов. Регулирование подачи воды насосной станцией организовано путем изменения количества работающих насосных агрегатов и регулирования задвижкой за одним из группы работающих насосов во всем диапазоне изменения объемов подачи технической воды насосной станцией.

4. Анализ графиков финансирования работ и экономии, получаемой от снижения энергопотребления при реализации проекта, подтверждает окупаемость затрат в период внедрения проекта, что дает возможность уменьшить объем первоначальных вложений за счет последующей "самоокупаемости" энергосберегающих мероприятий.

Литература

1. Ковалко М.П. Энергобереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк [відповідальний редактор А.К. Шидловський]. – К: УЕЗ, 1998. – 506 с.
2. 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.