

УДК 621.65

# ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИКЛА ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРНООБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

**В. С. Бойко**

Доктор технических наук, профессор  
Кафедра теоретической электротехники  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»  
пр. Перемоги, 37, г. Киев, Украина, 03056

**Н. П. Сотник**

Кандидат технических наук, доцент\*

**С. А. Хованский**

Аспирант\*

E-mail: Serg\_83@ukr.net

\*Кафедра прикладной гидроаэромеханики  
Сумской государственной университет  
ул. Римского-Корсакова 2, г. Сумы, Украина, 40007

*Наведені результати досліджень системи оборотного водопостачання гірничозбагачувального комбінату методом об'єктно-орієнтованого моделювання. Показано, що за рахунок здійснення модернізації групи насосних агрегатів заощаджено 29,77 % електроенергії.*

*Ключові слова: енергоефективність, водопостачання, насосне обладнання, моделювання.*

*Приведены результаты исследования системы оборотного водоснабжения горно-обогадательного комбината методом объектно-ориентированного моделирования. Показано, что за счет осуществления модернизации группы насосных агрегатов получено 29,77 % экономии электроэнергии.*

*Ключевые слова: энергоэффективность, водоснабжение, насосное оборудование, моделирование.*

*The results of researches of ore processing plant's circulating water-supply systems using object-oriented modeling are presented. It is shown that due to the modernization of pumping units' group 29,77 % of energy is saved.*

*Keywords: energy efficiency, water supply, pumping equipment, modeling.*

## 1. Введение

Одним из стратегических направлений реформирования современных систем водоснабжения является эффективное энергосбережение, уменьшение затрат и потерь энергоносителей, сокращение энергоемкости продукции и услуг. Особенно актуальны эти проблемы для предприятий сферы водоснабжения и водоотведения украинских городов, предприятий горнорудной и металлургической промышленности, а также химических производств.

Технологический процесс водоснабжения на предприятиях указанных отраслей характеризуется нерациональным использованием электрической энергии в производстве вследствие значительного износа труб и действующего оборудования, наличия потерь воды при транспортировке и необоснованно большими объемами ее потребления, а также изначально высокой энергоемкостью продукции и услуг, заложенной при проектировании этих предприятий [1].

Последний фактор в значительной мере предопределен исторически стартовыми условиями развития систем водоснабжения. Становление этой сферы народного хозяйства происходило в период господства плановой экономики: финансирование вложений производилось из бюджетных источников, а развитие экономики осуществлялось преимущественно экстенсивным путем в условиях низких цен на энергетические ресурсы, что наложило отпечаток на проектные особенности в различных сферах, в том числе и в системах водоснабжения.

## 2. Анализ предыдущих исследований и актуальность работы

Насосная станция оборотного водоснабжения (ОНС) осуществляет подачу технической воды для технологического процесса и гидротранспорта хвостов на обогадательную фабрику (ОФ), а также на нужды других потребителей. Она состоит из одного здания, в котором расположен машинный зал и две камеры переключения задвижек (камера всасывания и камера нагнетания).

Источник водоснабжения — осветленная в хвостохранилище вода.

На ОНС установлены две группы насосов:

I — группа — насосы № № 1–7 марки 24НДс производительностью 6300 м<sup>3</sup>/ч и напором 79 м;

II — группа — насосы № № 9–11 марки 24НДн с производительностью 5000 м<sup>3</sup>/ч и напором 32 м.

В качестве привода всех насосных агрегатов используются синхронные электродвигатели мощностью 1600 кВт, с числом оборотов 750 об/мин.

В течение проанализированного периода работы ОНС основной технологический процесс имел место при подачах воды от 24000 м<sup>3</sup>/ч до 16000 м<sup>3</sup>/ч. Причем, изменение объемов подаваемой воды достигалось за счет количества работающих насосных агрегатов и сочетания параллельно работающих насосных агрегатов с различной производительностью.

Насосная станция подает воду на обогадательную фабрику, технологический процесс которой обеспечивается при оптимальном давлении на входном коллекторе 3 кгс/см<sup>2</sup>.

Учитывая также разность уровней геодезических отметок ОФ и оси насосов ОНС, характеристика сети водоснабжения должна иметь статический напор около 33 м.

В напорной сети имеются две физические величины, характеризующие технологический процесс водоснабжения: расход (производительность) и давление (напор) [2], обычно именуемые основными гидравлическими параметрами. Остальные величины, поддающиеся измерению и контролю, являются косвенными и, по отношению к технологии водоснабжения потребителей — второстепенными. Если говорить об основных гидравлических параметрах, то любой технологический процесс водоснабжения укладывается в один из четырех приведенных ниже вариантов сочетания напора в гидравлической сети  $H_c$  и расхода  $Q_c$ : 1)  $H_c = \text{const}$ ;  $Q_c = \text{var}$ ; 2)  $H_c = \text{var}$ ;  $Q_c = \text{const}$ ; 3)  $H_c = \text{const}$ ;  $Q_c = \text{const}$ ; 4)  $H_c = \text{var}$ ;  $Q_c = \text{var}$ .

Основной потребитель воды от ОНС — обогатительная фабрика, предъявляет жесткие требования к параметрам водоподачи. Особенно это касается давления во входном коллекторе, отклонение которого от оптимального допускается в пределах не превышающих  $0,1 \text{ кгс/см}^2$ .

Основные параметры водоподачи посредством  $Q(H)$ -характеристики насосов жестко связаны между собой, и изменить любой из них, не затрагивая второй, произвольно нельзя. Управлять основными параметрами, т. е. осуществлять их целенаправленное изменение с целью оптимизации процесса водоснабжения по одному или нескольким критериям возможно, но это связано с решением сложной научной оптимизационной задачи.

При этом следует учесть, что снабжение технической водой потребителей обогатительной фабрики и других потребителей исследуемой гидравлической системы осуществляется по принципу «по потребности», т. е. каждый потребитель, подключенный к напорной сети, в любое время должен обеспечиваться водой под необходимым давлением и в требуемом количестве. Вопрос выбора основного регулируемого параметра в настоящем исследовании не стоит. Он вытекает из требований технологии водоснабжения потребителей, согласно которому основным регулируемым параметром является давление.

Если в напорной системе обеспечивается стабилизация давления, тогда необходимость в регулировании производительности отпадает. Действительно, при водопользовании, организованном «по потребности», расход задается извне, а в силу непрерывности потока жидкости производительность всегда должна равняться расходу. Общий расход ОНС зависит от количества подключаемых секций.

Изменения расхода вызывают отклонение давления, которое необходимо компенсировать, то есть расход является той величиной, ради которой необходима система регулирования [2]. Изменение расхода оказывает возмущающее воздействие на систему водообеспечения. Что касается тока и мощности приводных двигателей насосных агрегатов, то, как активные составляющие, так и полные их значения являются функцией расхода, т. е. возмущающего воздействия.

Из изложенного следует, что задача оптимизации технологического процесса подачи воды от ОНС на ОФ и другим потребителям может быть решена при управлении гидравлическими параметрами напорной сети за счет целенаправленного изменения  $Q(H)$ -характеристики как отдельных насосных агрегатов, так и насосной станции в целом. Причем характеристики параллельно работа-

ющих на насосной станции насосных агрегатов не обязательно должны быть одинаковыми. Но если решается задача снижения удельного расхода электроэнергии, различные характеристики насосных агрегатов должны быть между собой согласованы, исходя из основного регулирующего критерия.

### 3. Цели и задачи работы

Повышение энергоэффективности (снижение расхода электроэнергии на перекачивание единицы объема жидкости) технического водоснабжения технологических потребителей горнообогатительного комбината за счет согласования энергетических характеристик группы насосных агрегатов насосной станции с характеристикой гидравлической сети и нагрузки потребителей путем модернизации насосного оборудования и организации рациональной подачи воды насосной станцией.

### 4. Материалы и результаты исследований

Из-за значительных затруднений решения указанных оптимизационных задач аналитическим путем и важности этих решений для нужд разработки новых технических средств и модернизации проточной части существующих насосных агрегатов, целесообразно использование методов математического моделирования.

Объектно-ориентированная модель системы водоснабжения обогатительной фабрики и других потребителей (рис. 1), включает конфигурацию системы водоводов, диаметры отдельных участков и их протяженность, геодезические отметки, местные сопротивления, шероховатости внутренних поверхностей трубопроводов.

Моделирование режима работы системы водоснабжения до реализации проекта модернизации осуществлялось в соответствии с данными Технического задания:

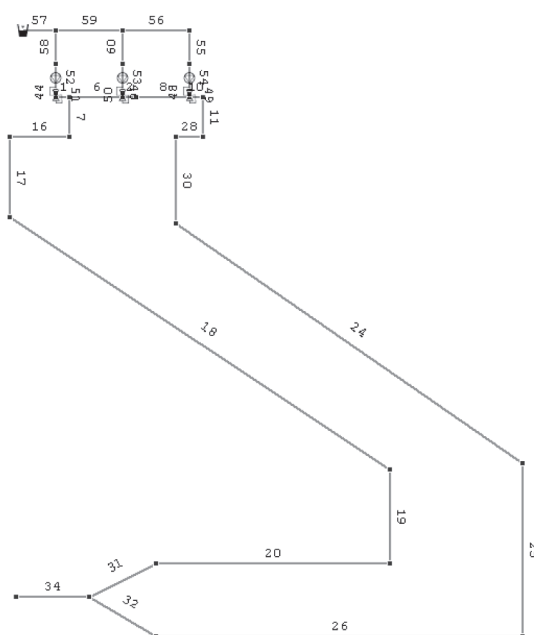


Рис. 1. Объектно-ориентированная модель исследуемой системы водоснабжения

в подаче технической воды задействованы 3 насосных агрегата, общий объем подачи —  $Q = 18\,400\text{ м}^3/\text{ч}$ , давление на входе в обогатительную фабрику —  $P = 3\text{ кгс}/\text{см}^2$  подпор по всасу не менее 10 м.

При исследовании режимов работы сети водоснабжения, имеющих место до выполнения работ по модернизации насосных агрегатов, использовались стандартные напорные характеристики насоса 24НДс, энергетические характеристики которых приведены на рис. 2.

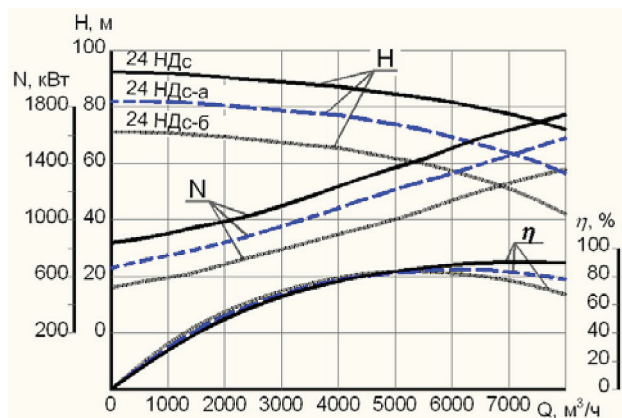


Рис. 2. Энергетические характеристики насоса 24НДс

Значение электрической мощности приводных электродвигателей отдельных насосных агрегатов и удельный расход электроэнергии на подачу  $1\text{ м}^3$  воды, полученные в результате моделирования, представлены в табл. 1

Таблица 1

Результаты моделирования режима водоснабжения не модернизированными насосными агрегатами

№ НА	Мощность, P [кВт]	Подача, Q [ $\text{м}^3/\text{ч}$ ]	Удельный расход, ρ [кВт · ч/ $\text{м}^3$ ]
НА № 3	1392	6170	0,2257
НА № 5	1381	6120	0,2257
НА № 6	1379	6110	0,2257

Полученные в результате моделирования значения основных показателей технологического процесса водоснабжения и удельное потребление электроэнергии достаточно близки к реальным, что свидетельствует об адекватности разработанной модели.

Проведенные в настоящей работе научные исследования показали, что при заданных в техническом задании

характеристиках сети водоснабжения и технологических потребностей, максимальный показатель энергоэффективности может быть достигнут при использовании основных насосных агрегатов с такими гидравлическими характеристиками:  $Q = 8000\text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $H = 39\text{ м}$ . Характеристика указанного насосного агрегата приведена на рис. 3,а.

Потери энергии за счет избыточного давления, создаваемого насосной станцией, можно уменьшить, включив на параллельную работу насосные агрегаты с различными характеристиками, подобранными соответствующим образом.

В соответствии с требованиями Технического задания максимальный объем подаваемой на ОФ воды составляет  $24000\text{ м}^3/\text{ч}$ , а минимальный —  $16000\text{ м}^3/\text{ч}$  при стабильном давлении на входе фабрики  $3\text{ кг}/\text{см}^2$ . Указанный, достаточно широкий диапазон подачи воды на фабрику при жестком нормировании входного давления требует разработки требований к режиму работы насосной станции с целью обеспечения технологического процесса при минимуме потребления электроэнергии.

Как показали исследования, обеспечить указанные выше требования возможно, при использовании насосных агрегатов с различными  $Q(H)$ -характеристиками. В частности, для насосной станции ОНС необходимо модернизировать два насосных агрегата 24НДС под характеристику, представленную на рис. 3,а, а третий — под характеристику, представленную на рис. 3,б. По этой причине насосный агрегат НА-3 модернизирован под гидравлические параметры  $Q = 6000\text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $H = 39\text{ м}$ , а насосные агрегаты № 5, 6 — под гидравлические параметры  $Q = 8000\text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $H = 39\text{ м}$ .

При оптимизации режима работы разнотипных насосных агрегатов, питающих общую нагрузку, необходим критерий выбора момента перехода от одного насосного агрегата (или их группы) к другому. Однако правильный подбор состава работающих насосных агрегатов еще не обеспечивает минимальных расходов электроэнергии на перекачивание жидкости. При использовании разнотипных насосных агрегатов следует, кроме того, правильно распределить нагрузку между ними и выявить границы их рационального использования во всем диапазоне изменения подачи насосной установки.

Такое регулирование подачи насосной станции не исключает применение дросселирования для согласования режима работы параллельно включенных насосных агрегатов и регулирования количества перекачиваемой ими жидкости.

Изложенное подтверждается результатами моделирования режима работы системы водоснабжения обогатительной фабрики группой из трех модернизированных насосных агрегатов, представленными в табл. 2.

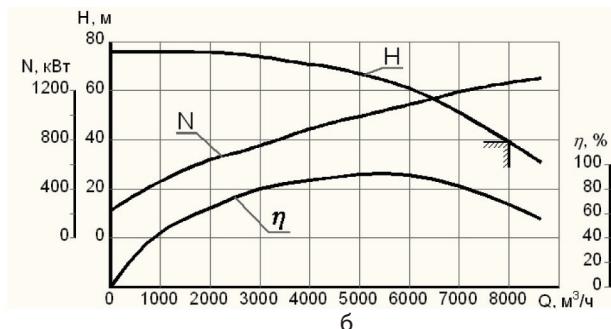
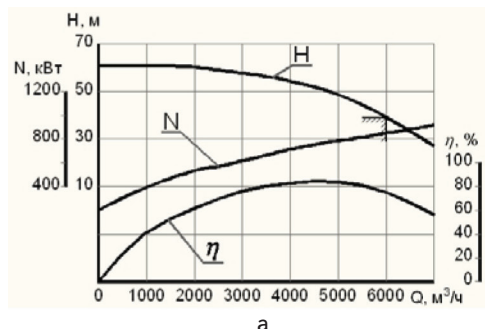


Рис. 3. Энергетические характеристики модернизированных насосных агрегатов:  
а —  $Q = 8000\text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $H = 39$ ; б —  $Q = 6000\text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $H = 39\text{ м}$

Таблиця 2

Результаты моделирования режима  
водоснабжения модернизированными насосными  
агрегатами

№ НА	Мощность, Р [кВт]	Подача, Q [м³/ч]	Удельный расход, ρ [кВт · ч/м³]
НА № 3м	534	2687	0,19874
НА № 5м	1191	7864	0,15145
НА № 6м	1191	7849	0,14174

Исходя из данных табл. 2 удельный расход электроэнергии на подачу 1 м³ технической воды составляет:

$$\rho_1 = \frac{2916}{18400} = 0,1585 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3.$$

Достижение максимальной энергоэффективности предусматривает также и необходимость разработки организационных мероприятий, направленных на снижение потребления электроэнергии через рациональное сочетание параллельно работающих насосных агрегатов в границах заданных давлений и подач [3].

## 5. Выводы

1. Применение объектно-ориентированного моделирования сложных гидравлических сетей упрощает решение оптимизационных задач и позволяет получить точные данные основных технических характеристик моделируемых объектов.

2. Основной практический эффект работы достигнут за счет модернизации трех насосных агрегатов ОНС

и разработки рекомендаций по энергоэффективному режиму водоснабжения технологических потребителей.

3. Достигнутая экономия электроэнергии от полной реализации проекта при учете характеристики режима работы ОНС до проведения работ по модернизации насосных агрегатов (среднесуточное потребление электроэнергии группой насосных агрегатов по измерениям счетчиков — 99 466 кВт · ч; среднесуточная подача технической воды группой насосных агрегатов по измерениям расходомеров — 440 642 м³; удельное потребление электрической энергии на перекачивание 1 м³ воды —  $\rho = 99466 / 440642 = 0,2257 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3$ ) составляет:

$$N = 100 \cdot (0,2257 - 0,1585) / 0,2257 = 29,77 \%.$$

При этом, исходя из среднесуточного потребления электроэнергии насосными агрегатами ОНС на уровне 99 466 кВт · ч, годовая экономия электроэнергии насосными агрегатами этой станции после модернизации составляет  $W = 99\,466 \cdot 0,2977 \cdot 365 = 10\,808\,025 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ .

## Литература

1. Ковалко М. П. Энергозбереження — пріоритетний напрямок державної політики України [Текст] / М. П. Ковалко, С. П. Денисюк. — Київ : УЕЗ, 1998. — 506 с.
2. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздухоудных установках [Текст] / Б. С. Лезнов. — М. : Энергоатомиздат, 2006. — 360 с.
3. Бойко В. С. Підвищення енергетичної ефективності водопостачання локального об'єкту [Текст] / В. С. Бойко, М. І. Сотник, С. О. Хованський // Промислова гідраліка і пневматика. — 2008. — № 1(19). — С. 100—103.

УДК 69.002.5

# МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ЗВОРОТНИХ ВИТОКІВ ЧЕРЕЗ КУЛЬОВИЙ КЛАПАН РОЗЧИНОНАСОСА

Є. А. Васильєв

Кандидат технічних наук, доцент  
Кафедра будівельних машин та обладнання  
ім. Олександра Оніщенка  
Полтавський національний технічний університет  
імені Юрія Кондратюка  
пр. Першотравневий, 24, м. Полтава, Україна, 36011  
Контактний тел.: (05322) 7-27-48, 066-600-43-69  
E-mail: vas.eugene@gmail.com

*Розглянуто механізм утворення зворотних витоків розчинної суміші через усмоктувальний клапан розчинонасоса впродовж такту нагнітання та вплив конструктивних та реологічних параметрів на їх величину; розроблена математична модель цього процесу.*

**Ключові слова:** зворотні витoki, клапан, розчинонасос, математична модель.

*Рассмотрен механизм образования обратных утечек растворной смеси через всасывающий клапан растворонасоса в течение такта нагнетания и влияние конструктивных и реологических параметров на их величину; разработана математическая модель этого процесса.*

**Ключевые слова:** обратные утечки, клапан, растворонасос, математическая модель.

*Mechanism of forming the inverse drains of mortar through suction valve of mortar pump is considered during a pumping tact. The influence of constructive and rheological parameters on their value is also investigated in the work; the mathematical model of this process has been designed by the author of the article.*

**Keywords:** inverse drains, valve, mortar pump, mathematical model.