



jet.com.ua

ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКИЙ  
ЖУРНАЛ  
ПЕРЕДОВЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ

ISSN 1729-3774

информационные технологии

інформаційні технології

information  
technologies

новая экономика

нова економіка

new economy

промышленные технологии

промислові технології

industrial  
applications

3/9(45)  
2010

- Прикладная механика

## 3/9 (45) 2010

# Содержание

### ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

- 4 Модель интеллектуальной информационной системы определения составов, характеристик и свойств бетона  
**И.А. Михеев**
- 7 Оптимізаційне проектування конструкції стіни торцевої піввагону моделі 12-9745 за критерієм мінімальної матеріалоемності  
**В.І. Мороз, О.В. Братченко, О.В. Фомін**
- 11 Выбор режимов нагружения силового электрооборудования трамвая  
**Д.Ю. Зубенко, М.Г. Габелия**
- 14 Дифракция волн на подвесе гироскопа  
**Н.В. Гнатейко**
- 20 Линейно-упругая трехслойная пластина в акустической среде  
**О.Я. Ковалец**
- 23 Возмущенное движение поплавкового подвеса под действием проникающего акустического излучения  
**В.В. Карачун, В.Н. Мельник**
- 27 Расчет нелинейного деформирования оболочек с развертывающейся срединной поверхностью приближенными аналитическими методами  
**И.В. Андрианов, А.М. Мильцын, В.И. Олевский, В.В. Плетин**



- 35 Особенности реологической модели вибрируемой бетонной смеси и ее влияние на прочность  
**В.В. Губа, В.Г. Герасименко, А.Н. Мастепан, А.В. Городничий, Р.В. Кротов**
- 39 Результати моделювання оптимальної системи виявлення і оцінювання стрибків амплітуди вібрацій  
**О.В. Полярус, В.В. Барчан**
- 42 Методы и алгоритмы верификации сил ударного взаимодействия в виброударных системах  
**А.В. Грабовский**
- 47 Підбір насоса при його роботі на мережу зі змінним опором у часі  
**С.О. Хованський, В.Г. Неня**
- 50 К вопросу о контактном взаимодействии плоского штампа с полупространством  
**Н.Н. Ткачук, А.Н. Ткачук**
- 54 Стенд для динамических исследований гидроагрегатов навесного оборудования почвообрабатывающей техники  
**А.И. Гасюк, Е.Н. Цента**

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**А. Б. Бойшик**

Доктор технических наук, профессор.  
Украинская Государственная Академия  
железнодорожного транспорта, УКРАИНА

**Т. В. Бутько**

Доктор технических наук, профессор.  
Украинская Государственная Академия  
железнодорожного транспорта, УКРАИНА

**М. Д. Годлевский**

Доктор технических наук, профессор.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», УКРАИНА

**В. Н. Гришева**

Доктор экономических наук, профессор.  
Харьковский государственный экономический университет, УКРАИНА

**В. Г. Данько**

Доктор технических наук, профессор.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», УКРАИНА

**Д. А. Демин**

Кандидат технических наук, доцент.  
Технологический Центр, УКРАИНА

**М. Д. Кац**

Доктор технических наук, профессор.  
Восточноевропейский национальный университет имени В. Дяля, УКРАИНА

**Б. В. Клименко**

Доктор технических наук, профессор.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», УКРАИНА

**Г. И. Львов**

Доктор технических наук, профессор.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», УКРАИНА

**П. Г. Перерва**

Доктор экономических наук, профессор.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», УКРАИНА

**А. А. Пермяков**

Доктор технических наук, профессор.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», УКРАИНА

**М. А. Подригало**

Доктор технических наук, профессор.  
Национальный автомобильный технический университет, УКРАИНА

**А. Е. Попов**

Кандидат экономических наук, доцент.  
Харьковский государственный экономический университет, УКРАИНА

**Л. А. Рыбак**

Доктор технических наук, профессор.  
Старооскольский технологический институт, РОССИЯ

**В. Б. Самородов**

Доктор технических наук, профессор.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», УКРАИНА

**В. Н. Самсонин**

Доктор технических наук, профессор.  
Государственный научно-исследовательский центр  
железнодорожного транспорта Украины, УКРАИНА

**Ю. В. Соболев**

Доктор технических наук, профессор.  
Украинская Государственная Академия  
железнодорожного транспорта, УКРАИНА

**А. Л. Становский**

Доктор технических наук, профессор.  
Одесский государственный политехнический университет, УКРАИНА

**В. В. Стариков**

Кандидат физико-математических наук, доцент.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», УКРАИНА

**Р. Д. Сытник**

Доктор технических наук, профессор.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», УКРАИНА

**А. Д. Тевяшев**

Доктор технических наук, профессор.  
Харьковский национальный университет радиозлектроники, УКРАИНА

**Т. А. Терещенко**

Доктор технических наук, профессор.  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт», УКРАИНА

**В. Я. Терзиян**

Доктор технических наук, профессор.  
Университет Ювьяскюля, ФИНЛЯНДИЯ.  
Харьковский Национальный университет радиозлектроники, УКРАИНА

**И. А. Фурман**

Доктор технических наук, профессор.  
Харьковский государственный технический университет сельского хозяйства, УКРАИНА

#### Главный редактор

**И. Г. Филиппенко**

Доктор технических наук, профессор,  
Украинская Государственная Академия  
железнодорожного транспорта, УКРАИНА

#### Учредители

ЧП «Технологический Центр»

Украинская Государственная Академия  
железнодорожного транспорта

#### Верстка

**Л. В. Бондарчук**

#### Аттестовано

Высшей Аттестационной Комиссией Украины  
Перечень № 12 постановления Президиума ВАК № 1-05/36  
от 11.06.03

#### Аттестовано

Постановлением Президиума ВАК Украины  
№ 1-05/2 от 27.05.2009, № 1-05/3 от 08.07.2009,  
Бюллетень ВАК Украины № 8, 2009

#### Рекомендовано

Ученым Советом

Украинской Государственной Академии  
железнодорожного транспорта  
протокол № 13 от 25.05.2010

#### Свидетельство о государственной регистрации журнала

КВ № 6520 от 13.09.2002

#### Адрес редакции и издательства:

Украина, 61145, г. Харьков, ул. Новгородская, 3-а,  
Технологический Центр  
тел. +38 (057) 750-89-90

E-mail: nauka@jet.com.ua

Сайт: <http://www.jet.com.ua>

Подписано в печать 28.05.2010 г. Формат 60 × 84 1/8.

Цена договорная.

Тираж 1000 экз.

Частичное или полное тиражирование любым способом  
материалов, опубликованных в этом издании, разрешается  
только с письменного согласия редакции

#### Подписка:

оформляется через подписные агентства

«Идея», «Периодика»

«Саммит», «Меркурий»

или через редакцию

*Запропоновано застосування впорядкованих діаграм водоспоживання для аналізу режимів роботи насосного обладнання. Розроблена методика визначення оптимальних параметрів насоса, що працює на мережу зі змінним опором у часі, за критерієм мінімального енергоспоживання та визначений вплив зовнішніх чинників функціонування системи*

*Ключові слова: енергозбереження, водопостачання, насосне обладнання*

*Предложено применение упорядоченных диаграмм водопотребления для анализа режимов работы насосного оборудования. Разработана методика определения оптимальных параметров насоса, работающего в гидравлической сети с неизменным сопротивлением во времени, по критерию минимального энергопотребления и определено влияние внешних факторов функционирования системы*

*Ключевые слова: энергосбережение, водоснабжение, насосное оборудование*

*Proposed use of ordered diagrams of water consumption for the analysis of modes of pumping equipment. A method of determining the optimal parameters of the pump operating in the hydraulic network with baser resistance over time, according to the criterion of minimum energy consumption and determine the impact of external factors of the system*

*Key words: energy saving, water supply, pumping equipment*

# ПІДБІР НАСОСА ПРИ ЙОГО РОБОТІ НА МЕРЕЖУ ЗІ ЗМІННИМ ОПОРОМ У ЧАСІ

**С.О. Хованський**

Аспірант

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки\*

Контактний тел.: (099) 495-97-45

E-mail: Serg\_83@ukr.net

**В.Г. Неня**

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра інформатики\*

E-mail: nenja\_vg@mail.ru

\*Сумський державний університет

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, Україна, 40007

## 1. Вступ

Зважаючи на те, що Україна є країною, в якій спостерігається дефіцит власних паливно-енергетичних ресурсів, підвищення енергоефективності технологій, усунення непродуктивних втрат енергоносіїв, зменшення енергоємності продукції і послуг визначені найважливішим стратегічним напрямком енергетичної політики України. Особливо актуальною дана проблема є для систем водопостачання житлово-комунального господарства, обладнання якого є надзвичайно енергоємним і не завжди відповідає сучасним вимогам успішного розвитку економіки України. Зважаючи на те, що дана галузь є пріоритетною в національній економіці, останніми роками велика увага приділяється вирішенню питань, які пов'язані з удосконаленням виробництва в галузі з метою покращення техніко-економічних та екологічних показників її роботи.

## 2. Аналіз попередніх досліджень та актуальність роботи

Традиційно склалося, що в житлово-комунальному господарстві проектування систем водопостачання і вибір обладнання виконувалося на 20-річну перспективу розвитку, виходячи з рівномірного графіку подачі води, що виправдано тільки наявністю дуже великих регулюючих ємностей у мережі. Насосне обладнання (з розрахунком на ріст водоспоживання в майбутньому) вибиралося зі стандартного ряду з запасом по напору і розраховувалося на максимальний режим споживання води. Але у системах комунального водопостачання мають місце добові, тижневі та сезонні коливання водоспоживання, внаслідок чого реальні робочі режими насосних агрегатів знаходяться поза робочими зонами їх характеристик.

Незважаючи на те, що сам факт нерівномірності водопостачання констатується в дослідженнях різних

авторів та при виборі насосного обладнання, розрахунки проводяться виключно на максимальний режим споживання. Такий підхід до вибору параметрів насосного обладнання створює високий рівень енерговитрат, які обумовлені встановленням обладнання завищеної потужності.

Створення економічної системи водопостачання базується на розв'язку оптимізаційної задачі, основною цільовою функцією якої є зменшення витрат електроенергії на перекачування споживачу необхідних обсягів води.

Таким чином, практично у всіх містах України є резерви зниження енергоємності водопостачання за рахунок визначення оптимальних параметрів насосного обладнання на підставі аналізу коливань добового графіка споживання води.

### 3. Мета та задачі роботи

Метою даної роботи є енергозбереження при експлуатації насосного обладнання, працюючого в діючих технологічних мережах. При цьому вирішується задача по розробці методики визначення оптимальних параметрів насоса, що працює на мережу зі змінним опором в часі, за критерієм мінімального енергоспоживання та визначення впливу зовнішніх чинників функціонування системи.

### 4. Матеріали та результати дослідження

Режими роботи насосного обладнання суттєво залежать від режимів водоспоживання. Як правило, режими водоспоживання визначаються багатьма, незалежними одна від одної, причинами: кліматичними, погодними, культурно-соціальними умовами, режимами роботи підприємств тощо. Режими водоспоживання характеризуються, зазвичай, добовими, місячними, річними графіками водоспоживання. Але при дослідженні режимів роботи насосних установок за тривалий проміжок часу добовими графіками водоспоживання користуватися не зручно, оскільки вони суттєво відрізняються один від одного за днями тижня, порами року тощо. Їх практично неможливо описати математичними залежностями. З цих причин для аналізу режимів роботи насосних установок пропонується використовувати впорядковані діаграми водопостачання по аналогії з впорядкованими діаграмами електричних навантажень [1]. Під впорядкованою діаграмою водопостачання розуміють криву, що сполучає розташовані в порядку зростання ординати добових графіків водопостачання за тривалий проміжок часу, наприклад рік, місяць, добу.

На рис. 1 представлений реальний графік добового водопостачання одного 12 мікрорайону м. Суми, отриманий автором і оприлюднений в роботі [2], та його впорядкована діаграма. При цьому, впорядкована діаграма водоспоживання можна апроксимувати експоненціальною функцією типу  $Q(t) = ae^{bt}$ , де  $a$  і  $b$  – коефіцієнти апроксимації, що характеризують графік добового водоспоживання. Коефіцієнт  $b$  характеризує ступінь нерівномірності водоспоживання, якщо  $b = 0$ , то графік водоспоживання є сталим у часі.

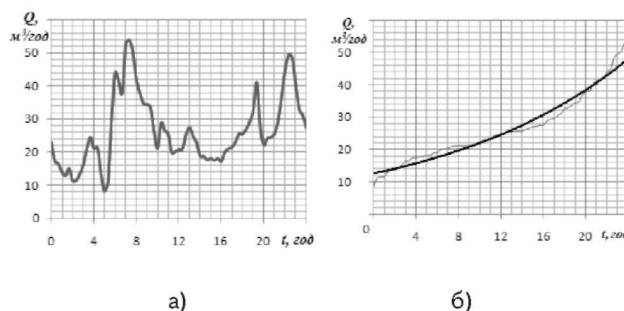


Рис. 1. Добова нерівномірність водоспоживання 12 мікрорайону м. Суми : а) фактична; б) впорядкована діаграма

Описаний таким чином графік добового водоспоживання дає змогу визначити енергетичні показники режимів роботи насосного обладнання та встановити вплив на них зовнішніх чинників.

В роботі [3] була отримана аналітична залежність напору насоса від витрати через координати базової точки (в якій параметри насоса  $H_m$  і  $Q_m$ ) і тангенс кута дотичної в цій точці ( $tg\gamma$ ):

$$H(Q) = H_m - \frac{tg\gamma}{2} Q_m + \frac{tg\gamma}{2Q_m} Q^2. \tag{1}$$

Також в роботі [3] була отримана аналітична залежність коефіцієнта корисної дії (ККД) насоса від витрати через максимальне значення ККД  $\eta_m$  і відповідному йому значенню витрати  $Q_0$  (оптимальна подача):

$$\eta = 2 \frac{\eta_m}{Q_0} Q - \frac{\eta_m}{Q_0^2} Q^2. \tag{2}$$

Для економічного обґрунтування прийняття різних управлінських рішень при виборі оптимальних параметрів насоса основним критерієм є величина спожитої електроенергії, котра визначається як:

$$N(t) = \int_0^t \frac{\rho g Q(t) H(Q,t)}{\eta(Q,t)} dt. \tag{3}$$

Підставляючи в (3) залежності (1), (2) та залежність витрати від часу  $Q(t) = ae^{bt}$ , отримаємо значення спожитої електроенергії впродовж розглядуваного проміжку часу  $t_1$ :

$$N = \frac{\rho g}{\eta_m} \int_0^{t_1} \frac{\left( H_m - \frac{tg\gamma}{2} Q_m + \frac{tg\gamma}{2Q_m} a^2 e^{2bt} \right) Q_0^2}{2Q_0 - a e^{bt}} dt. \tag{4}$$

Таким чином, спожите значення електроенергії впродовж розглядуваного проміжку часу  $t$  залежить від максимального значення водоспоживання  $Q_m$ , значення напору при цьому водоспоживанні  $H_m$ , крутизни напірної характеристики насоса, що характеризується  $tg\gamma$ , значенням максимального ККД насоса  $\eta_m$  та подачі насоса  $Q_0$  при цьому ККД.

Аналітичний розв'язок залежності (4) отримати складно, але для його аналізу скористаємося наступними міркуваннями. При виборі різних варіантів параметрів насоса, його напір при максимальному водопостачанні  $Q_m$  повинен бути не меншим  $H_m$ , в іншому випадку якість водозабезпечення буде незадовільною. При забезпеченні всього діапазону зміни водоспоживання одним насосом, його витрата при максимальному ККД повинна підкорятися умові  $0,5Q_m < Q_0 < Q_m$ , в іншому випадку один насос не

зможє забезпечити весь діапазон зміни подач при необхідному значенні  $H_m$ .

Визначимо відносне енергоспоживання  $N^*$  як відношення енергоспоживання при довільних параметрах насоса  $N$  до енергоспоживання при виборі насоса на максимальне значення водоспоживання.

Енергоспоживання, за умови вибору насоса на максимальне значення водоспоживання, визначається аналогічно (4), за умови що  $Q_0 = Q_m$ :

$$N_m = \frac{\rho g}{\eta_m} \int_0^{t_1} \frac{\left( H_m - \frac{tg\gamma}{2} Q_m + \frac{tg\gamma}{2Q_m} a^2 e^{2bt} \right) Q_m^2}{2Q_m - ae^{bt}} dt. \quad (5)$$

Прийнявши, що  $Q_0 = kQ_m$ , та  $Q_m = ae^{bt_1}$  та враховуючи залежності (4) і (5), відносне енергоспоживання матиме вигляд:

$$N^* = \frac{\int_0^{t_1} \frac{\left( H_m - \frac{tg\gamma}{2} ae^{bt} + \frac{tg\gamma}{2} ae^{b(2t-t_1)} \right) k^2 ae^{2bt_1}}{2ke^{bt_1} - e^{bt}} dt}{\int_0^{t_1} \frac{\left( H_m - \frac{tg\gamma}{2} ae^{bt} + \frac{tg\gamma}{2} ae^{b(2t-t_1)} \right) ae^{2bt_1}}{2e^{bt_1} - e^{bt}} dt}. \quad (6)$$

На рис. 2,а приведена впорядкована діаграма водоспоживання в залежності від коефіцієнта нерівномірності  $b$ . На рис. 2,б представлена геометрична інтерпретація залежності зміни відносного енергоспоживання від ступені нерівномірності водоспоживання, при значенні кута нахилу напірної характеристики насоса  $\gamma = 5$ . Аналіз даної залежності показує, що різним значенням ступеня нерівномірності водоспоживання відповідають різні значення номінальної подачі  $Q_0$  при забезпеченні мінімального енергоспоживання.

На рис. 3,а наведена безрозмірна напірна характеристика насоса при різних значеннях тангенсу кута нахилу дотичної в базовій точці. На рис. 3,б представлена геометрична інтерпретація залежності зміни відносного енергоспоживання від тангенсу кута нахилу напірної характеристики насоса, при ступені нерівномірності водоспоживання  $b = 0,12$ . Аналіз даної залежності показує, що зі збільшенням крутизни напірної характеристики насоса збільшується питоме енергоспоживання. Тому для забезпечення мінімального енергоспоживання при роботі одного насоса на мережу зі змінним опором у часі можна сформулювати вимогу до напірної характеристики насоса, яка полягає у зменшенні крутизни  $(tg\gamma)$  напірної характеристики.

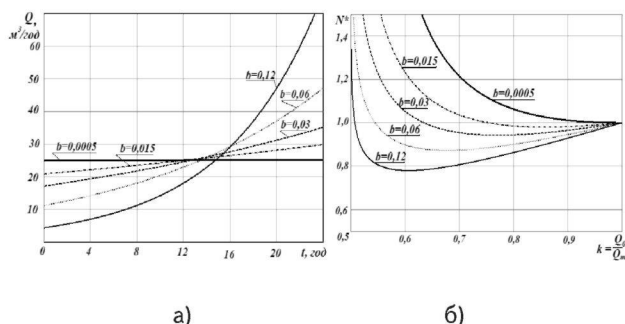


Рис. 2.

- а) впорядкована діаграма водоспоживання в залежності від ступені нерівномірності водоспоживання  $b$ ;
- б) залежності зміни відносного енергоспоживання від ступені нерівномірності водоспоживання  $b$

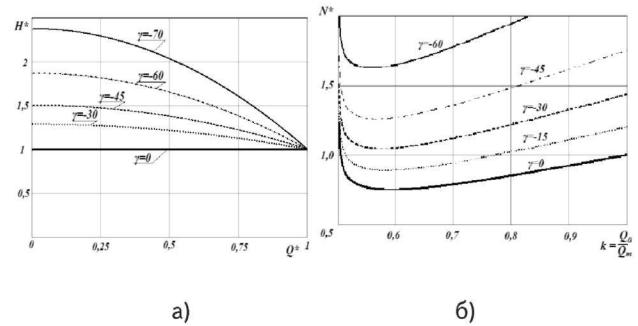


Рис. 3.

- а) безрозмірна напірна характеристика насоса при різних значеннях кута нахилу дотичної в базовій точці;
- б) залежності зміни відносного енергоспоживання від тангенсу кута нахилу напірної характеристики насоса  $\gamma$

#### 4. Висновки

1. Обґрунтовано застосування впорядкованих діаграм водоспоживання для аналізу режимів роботи насосних установок.
2. Розроблено формалізовану методику для визначення параметрів насоса, що працює на мережу зі змінним опором у часі, що передбачає мінімальне споживання потужності на приведення у рух насоса.
3. Під час проведення досліджень встановлено, що при роботі насоса на мережу зі змінним опором у часі є гранично допустимий рівень енергоспоживання та визначено вплив різних чинників на нього.
4. Встановлено, що різним значенням ступеня нерівномірності водоспоживання відповідають різні значення номінальної подачі  $Q_0$  при забезпеченні мінімального енергоспоживання.
5. Визначено, що найменший рівень енергоспоживання можна отримати за умови мінімально можливої крутизни напірної характеристики насоса.

#### Література

1. Волобринский С.Д. Электрические нагрузки и балансы промышленных предприятий / С.Д. Волобринский – Л.: «Энергия», 1976. – 128 с.
2. Євтушенко А.О. Визначення оптимального складу насосної станції / Євтушенко А.О., Нея В.Г., Сотник М.І., Хованський С.О. // Вісник Кременчуцького державного університету – 2008. – Вип. 4/2008 (51) – С. 168 – 171.
3. Бойко В.С. Аналіз частотного регулювання відцентрових насосів водопостачання з метою енергозбереження / Бойко В.С., Нея В.Г., Сотник М.І., Хованський С.О. // Вісник Кременчуцького державного університету – 2009. – Вип. 4/2009 (57) – С. 158 – 162.