

УДК 622.516.001.5

**В. М. Яковлєв**, канд. техн. наук, доц., **В. Б. Малєєв**, докт. техн. наук, проф., **С. С. Малигін**, канд. техн. наук, доц.,  
**А. С. Холоша**, асистент,  
Донецький національний технічний університет.

## **АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІДРОЕЛЕВАТОРІВ БЕЗ ДИФУЗОРУ ПРИ РОБОТІ ЇХ У ВАКУУМНОМУ РЕЖИМІ**

*У статті наведені результати попередніх експериментальних досліджень роботи струминних насосів без дифузора у вакуумному режимі, які показали доцільність проведення подальших досліджень із метою розробки методики розрахунків для промислових умов.*

**гідроелеватор, вакуум, швидкість, дифузор**

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами.** Аналіз впливу витрат напору в проточній частині гідроелеваторів на їх ефективність показав, що при модулі  $m < 15$  втрати потужності у дифузори складають більше ніж 50% від усіх втрат. Головна задача дифузору, як одного зі складових елементів гідроелеватора – це перетворення швидкісного напору на виході з камери змішування у статичний напір, необхідний для транспортування рідини на значні відстані. Але в умовах шахтного водовідливу або на збагачувальних фабриках, коли є необхідність у систематичному очищенні приймальних ємностей від шламу (зумпфи скіпових стволів, колодязі насосних камер, попередні відстійники), можна обмежитися лише підняттям шламу з ємності та наступним його згущенням. У таких випадках постає питання про доцільність використання дифузору як елемента проточної частини. Відсутність його значно спрощує конструкцію. Крім того, при роботі гідроелеваторів без дифузору є можливість знизити витрату робочої води.

**Аналіз досліджень та публікацій.** В літературі немає жодних даних о дослідженнях роботи гідроелеватора без дифузору, що працює у вакуумному режимі.

**Постановка задачі.** Аналіз роботи гідроелеваторів без дифузору в вакуумному режимі доцільно провести за результатами експериментальних досліджень. Методика досліджень полягає в експериментальному отриманні напірних та енергетичних характеристик гідроелеваторів різних модулів при різних швидкостях витікання струменя

робочої води та наступному аналізі впливу різних факторів на їх ефективність.

**Викладення матеріалу та результати.** Конструкція експериментального гідроелеватора дозволяє проводити заміну насадків та камер змішування тим самим змінювати його основний геометричний параметр – модуль. Для проведення експериментів використовувались насадки діаметром 11,4 мм. Камери змішування використовувались з діаметрами – 20, 25 і 30 мм.

На рисунку 1 приведена гідравлічна схема експериментальної установки. Витрата робочої води  $Q_1$ , надходить від насосу – 1 по трубопроводу – 10 до насадки гідроелеватора – 6. Напір робочої води  $H_1$  вимірюється за допомогою манометра – 5. Засувки – 3 і 4 необхідні для регулювання напору робочої води  $H_1$ . Витрата робочої води через насадку гідроелеватора визначається розрахунковим шляхом, з урахуванням розрідження у початковому перетині камери змішування.

Робочий режим насоса регулюється засувками 3 і 4. Частина подачі насоса скидається по зливному трубопроводі – 11 у колодязь. На усмоктувальному трубопроводі гідроелеватора встановлений шибер – 9, який дозволяє змінювати вакуумметричну висоту всмоктування і режим роботи гідроелеватора. Вимірювання вакуумметричного тиску –  $P_v$ , в усмоктувальному трубопроводі гідроелеватора здійснюється вакуумметром – 7.

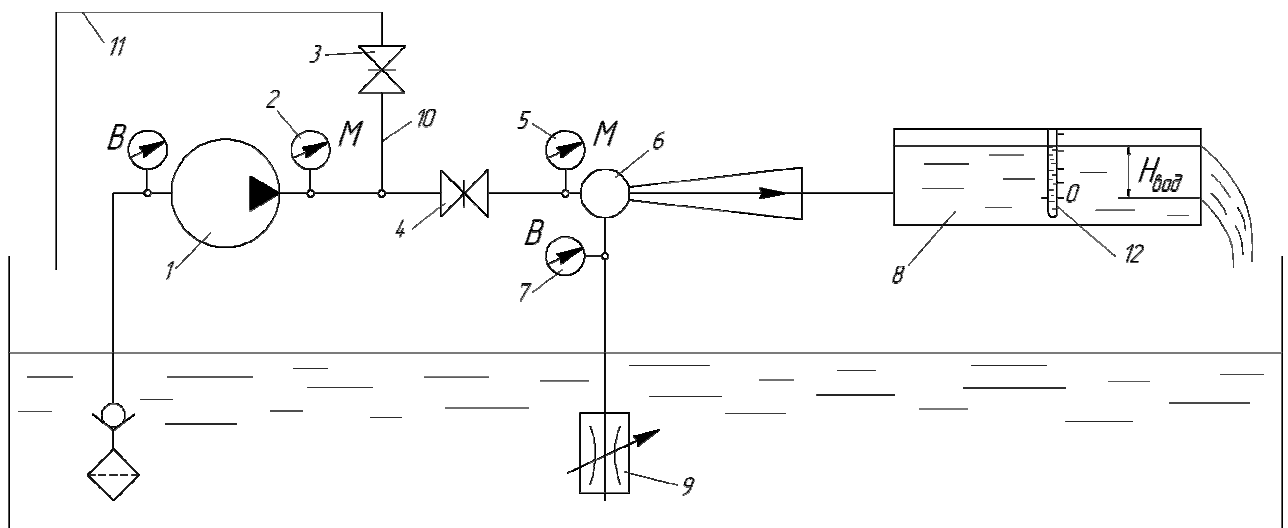


Рисунок – 1. Гідравлічна схема експериментальної установки

Витрата робочої води і води що транспортується визначається за допомогою приймального баку та трикутного водозливу. За допомогою мірної трубки – 12 можемо визначити напір водозливу  $H_{вод}$ . Загальна витрата води визначається за допомогою рівняння Х. Кінга [1]:

$$Q_{заг} = 1,331(tg\theta)^{0,996} \cdot H_{вод}^{2,47}, \quad (1)$$

де  $\theta$  – половина кута трикутного водозливу, град;

$H_{вод}$  – рівень води у водозливі, м.

Подачу гідроелеватора  $Q_{2(роз)}$  визначаємо як різницю загальної витрати на виході з камери змішування та витратою робочої води  $Q_1$ :

$$Q_{2(роз)} = Q_{заг} - Q_1. \quad (2)$$

Напір гідроелеватора визначаємо за формулою:

$$H_{г.ел.} = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_{сеп}^2}{2g} + H_{вод} - \frac{V_{ПК}^2}{2g}. \quad (3)$$

де  $P_B$  – розрідження в приймальній камері;

$V_{сеп}$ ,  $V_{ПК}$  – середні швидкості потоку відповідно на виході з камери змішування та у приймальній камері.

Коефіцієнт подачі гідроелеватора  $\beta$  визначається як відношення витрати води що транспортується  $Q_{2(роз)}$  до робочої води  $Q_1$  гідроелеватора, а коефіцієнт напору гідроелеватора  $K$  як відношення напору гідроелеватора  $H_{г.ел.}$  до напору робочої води  $H_1$ .

Коефіцієнт корисної дії гідроелеватора як добуток коефіцієнтів подачі і напору:

$$\eta = \beta \cdot K \quad (4)$$

Оцінювання похибки визначення параметрів робочих режимів гідроелеватора показала, що максимальна похибка має місце при визначенні ККД та складає 9,8 %.

Експериментальні дослідження, які проведено у відповідності до розробленої методики, дозволили отримати ряд цікавих результатів.

На рисунку 2 наведено напірні характеристики гідроелеватора з модулем 3,08 (діаметр камери 20 мм) при різних швидкостях струменя робочої води. Напір гідроелеватора визначався за залежністю (3). Характерною особливістю характеристик є підвищення напору з підвищенням подачі  $Q_2$ . Це підвищення напору визначається значною мірою (50 % та більше) швидкісного напору у повному напорі на виході з камери змішування. Аналогічні напірні характеристики було отримано й при значеннях модуля 4,81 та 6,93. Швидкісний напір, що враховується у повному напорі, суттєво впливає на ККД гідроелеватора. Значення ККД у цьому випадку складає 0,85 – 0,9. У цей же час, швидкісний напір, що утворюється, не може бути корисно використано, тому, після проведення попередньої обробки експериментальних даних, було вирішено розраховувати напір гідроелеватора без урахування швидкісного напору.

Напірні характеристики гідроелеваторів, що розраховані без врахування швидкісного напору на виході з камери змішування, приведені на (рис. 3). Необхідно відзначити що усі експериментально отримані робочі режими гідроелеваторів, що працюють у вакуумному режимі (без дифузору), належать вертикальним ділянкам характеристик звичайного гідроелеватора [2,3]. Вертикальні (зірвані) ділянки характеристик гідроелеватора отримані при досягненні у початку ка-

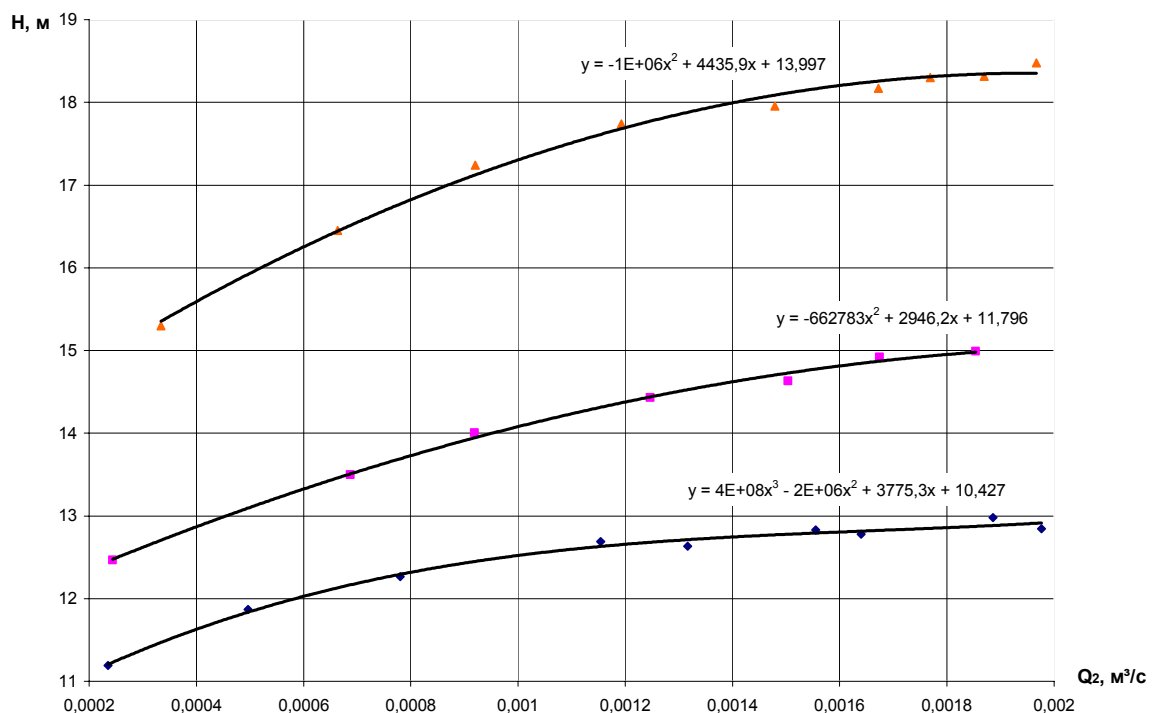


Рисунок 2 – Напірні характеристики гідроелеватора з модулем 3,08 при швидкостях струменя робочої води:  
1 – 22,11 м/с; 2 – 26,65 м/с; 3 – 33,95 м/с.

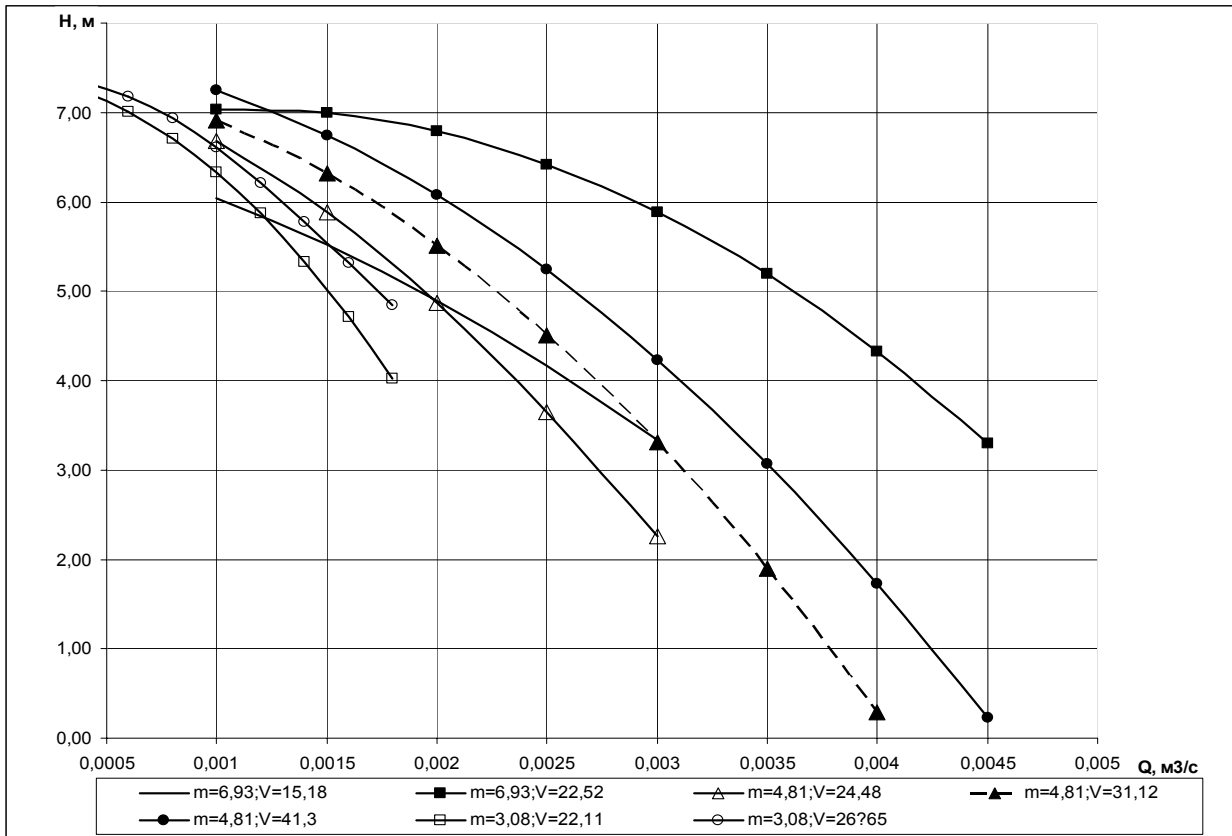


Рисунок 3 – Напірні характеристики гідроелеваторів, що розраховані без врахування швидкісного напіру на виході з камери змішування

мери змішування глибокого вакууму. Тиск у цьому перерізі наближається до тиску насиченого пару рідини при даній температурі. Відбувається інтенсивне виділення розчиненого повітря, у першу чергу, у струмені робочої води. Зміна тиску за дифузором не приводить до зміни подачі. Тому, гідроелеватор без дифузору, що працює у вакуумному режимі завжди працює на такій вертикальній ділянці.

Напірні характеристики гідроелеватора, що отримані експериментально, з модулем  $m=3,08$  при різних швидкостях струменя робочої води практично співпадають. Характеристики гідроелеваторів з модулем  $m=4,81$  і  $m=6,93$  розходяться зі зміною швидкості витікання робочої води, причому, розходження збільшується у гідроелеватора з  $m=6,93$ . Це розходження можна пояснити наступним чином. У гідроелеватора з  $m=3,08$  відстань від зрізу насадка до початку камери змішування було приблизно рівно оптимальному [2]. При зміні камери змішування на більший діаметр ( $d_k=25$  мм.), початок камери зміщувався у бік насадка і завдяки цьому суттєво зменшувалася площа перерізу каналу підведення рідини (збільшувався його опір). Це і зумо-

вило зниження подачі гідроелеватора при незмінній вакуумметричній висоті всмоктування. При встановленні діаметра камери змішування ( $d_k=30$  мм.) зменшення перерізу каналу підведення рідини стало настільки суттєвим, що подача гідроелеватора знизилася, приблизно, у два рази. Звичайно, ця обставина вплинула і на усі інші параметри, що характеризують роботу гідроелеватора.

Найважливіший параметр, що характеризує роботу будь-якої гідравлічної машини, є її коефіцієнт корисної дії. Оцінка ККД експериментального гідроелеватора проводилася по залежності (6). Так, на рисунку 4 приведена залежність ККД експериментального гідроелеватора з  $m=3,08$  від подачі при різних швидкостях струменя робочої води. Необхідно відзначити, що максимальне значення ККД має місце при однаковій подачі. Але значення ККД у цих режимах різко знижується зі зростанням швидкості струменя робочої води. Зниження ККД при збільшенні швидкості струменя робочої води має місце і для гідроелеваторів модулів  $m=4,81$  і  $m=6,93$ . Так, у гідроелеватора з  $m=6,93$ , ККД знижується практично у два рази при збільшенні швидкості струменя від 15,18 м/с до 22,52 м/с. Крім цього, максимальне значення ККД цього гідроелеватора має місце при менших значеннях

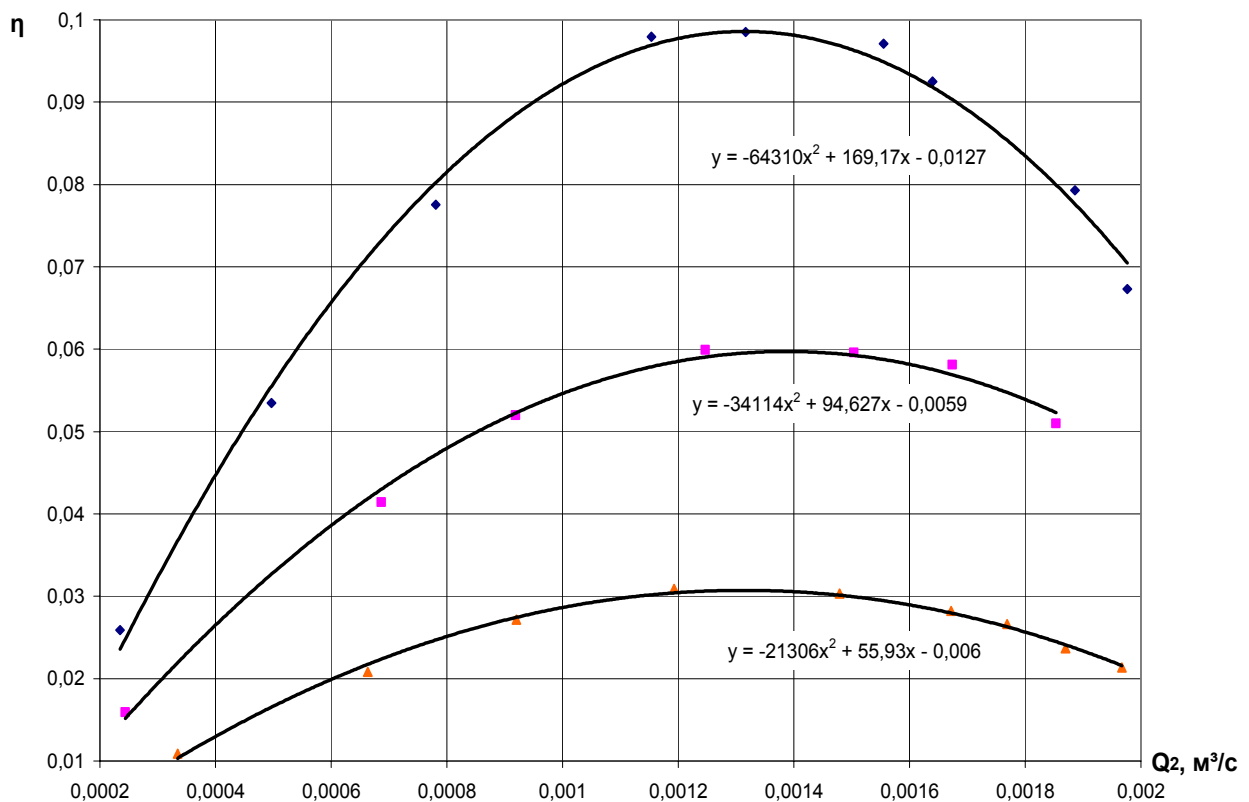


Рисунок 4 – Енергетичні характеристики гідроелеватора з модулем 3,08 при різних швидкостях робочої води:  
 $V_1$ : 1 – 22,11 м/с; 2 – 26,65 м/с; 3 – 33,95 м/с.

подачі. Причиною цього є звуження перерізу потоку рідини що транспортується у конфузорі. Саме у гідроелеватора цього модуля вплив звуження потоку проявляється найбільш сильно.

На рисунку 5 представлена залежність ККД гідроелеваторів трьох модулів при різних швидкостях струменя робочої води від коефіцієнта подачі гідроелеватора. Необхідно одразу відзначити, що найбільш високі значення ККД має гідроелеватор з  $m=6,93$ . І це при максимальному впливі звуження потоку в конфузорі. Слід чекати, що при відсутності цього звуження, коли буде витримування оптимальної відстані від зрізу насадки до початку камери змішування, значення максимальних ККД збільшаться і змістяться у бік збільшення коефіцієнту подачі.

У цілкому, аналіз характеристик, приведених на рисунку 6, показує, що ККД гідроелеватора збільшується зі збільшенням коефіцієнту подачі (модуля) і зі зменшенням швидкості струменя робочої води. Безпосередньо це припущення підтверджується залежністю ККД гідроелеваторів різних модулів від швидкості струменя робочої води (рис. 6). При інших рівних умовах значення ККД вище у гідроелеваторів з більшими модулями.

Отримані якісні результати досліджень у цілкому не суперечать

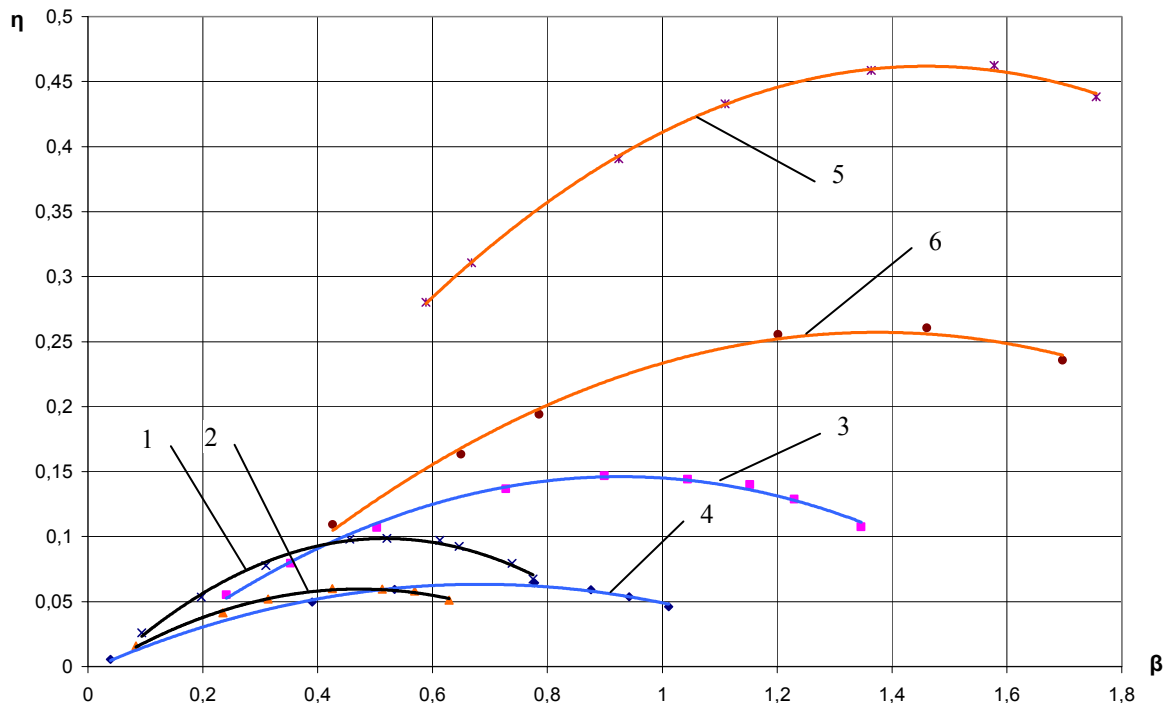


Рисунок 5 – Залежності ККД гідроелеватора від коефіцієнта подачі:

- |                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 1 – $m=3,08$ , $V_1=22,11$ м/с; | 2 – $m=3,08$ , $V_1=26,65$ м/с; |
| 3 – $m=4,81$ , $V_1=24,48$ м/с; | 4 – $m=4,81$ , $V_1=31,12$ м/с; |
| 5 – $m=6,93$ , $V_1=15,18$ м/с; | 6 – $m=6,93$ , $V_1=22,52$ м/с. |

фізичним представленням о процесі що досліджується. Деякі кількісні результати досліджень, наприклад, значення максимального ККД,

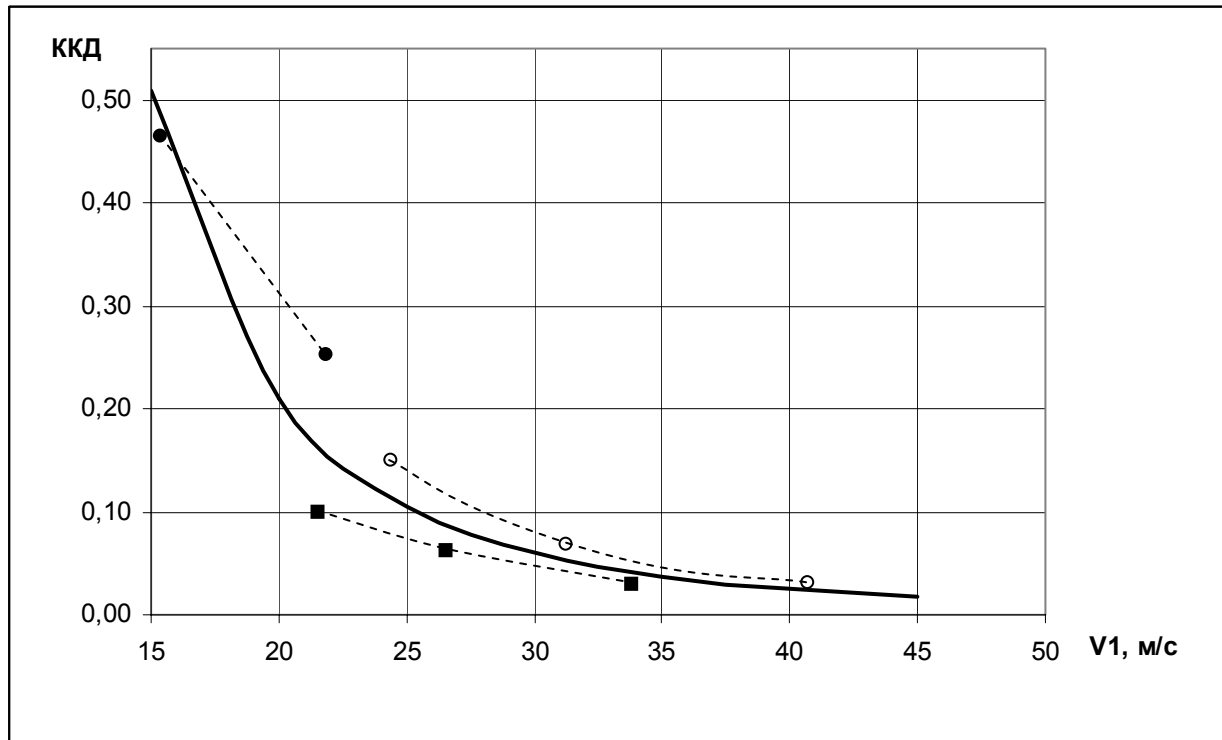


Рисунок 6 – Залежність ККД від швидкості струменя робочої води

■  $m = 3,08$

○  $m = 4,81$

●  $m = 6,93$

не можуть бути прийняті як остаточні у наслідок того, що гідроелеватори які досліджувалися не мали оптимальних геометричних форм (звуження потоку рідини, що транспортується, у конфузори). Однак, по результатам проведених досліджень можна досить точно оцінити мінімальну допустиму швидкість струменя робочої води при якій гідроелеватор стабільно працює у вакуумному режимі. Теоретично цю швидкість можна підрахувати. Швидкісний напір струменя повністю витрачається на створення розрідження у початку камери змішування. Максимальний вакуумметричний тиск, який може створити струмінь, визначається зі співвідношення:

$$\frac{P_a - P_{НП}}{\rho g} = \frac{V_1^2}{2g}, \quad (5)$$

де  $P_{НП}$  – тиск насичених парів рідини при даній температурі (для води при температурі  $20^\circ\text{C}$   $\frac{P_{НП}}{\rho g} \approx 0,24$  м.).



З рівняння (5) мінімальна необхідна швидкість струменя робочої води при атмосферному тиску становить 14 м/с:

У дійсності, для роботи реального гідроелеватора, енергія струменя повинна бути дещо більша, так як частина цієї енергії використовується для переміщення рідини що транспортується по камері змішування і подолання втрат напору у ній.

При проведенні експериментальних досліджень мінімальна швидкість струменя робочої води, при якій були отримані стійкі робочі режими гідроелеватора, склала  $V_1 \approx 15,8$  м/с. При менших швидкостях струменя гідроелеватор працював нестійко і це не дозволило зафіксувати параметри робочих режимів.

Таким чином, проведенні експериментальні дослідження гідроелеваторів, що працюють у вакуумному режимі, можна вважати як попередні. Але, отримані результати дозволяють зробити ряд основних висновків.

#### ***Висновки та напрями подальших досліджень.***

1. Робочі режими гідроелеваторів, що працюють у вакуумному режимі (без дифузора), належать до вертикальних (зірваних) ділянок характеристик звичайного гідроелеватора.

2. Мінімальна швидкість струменя робочої води, що необхідна для подолання втрат напору у камері змішування повинна бути більше ніж 14 м/с. Слід очікувати, що значення мінімальної швидкості буде збільшуватися зі збільшенням модуля гідроелеватора.

3. Отриманні максимальні значення ККД ( $\eta = 0,46$  при  $m = 6,93$ ) дозволяють розраховувати на більш високі його значення при оптимальних геометричних розмірах гідроелеватора.

4. Подальші дослідження гідроелеваторів без дифузору, які працюють у вакуумному режимі, повинні бути направлені на отримання залежностей для визначення їх оптимальних геометричних та режимних параметрів.

Перелік використаних джерел.

1. Справочник по гидравлике. Под ред. Большакова В.А. Киев, «Вища школа», 1977, 280 с.
2. Разработка гидроэлеваторной проходческой водоотливной установки. Дисс...канд. техн. наук, Донецк, 1987, 180 с.
2. Яковлев В.М. Влияние условий всасывания на максимальную подачу гидроэлеватора./ Разработка месторождений полезных ископаемых. Киев: Техника, 1975. Вып.41. С. 96-99.

Стаття надійшла до редколегії 15.09.2009

Рецензент: докт. техн. наук, проф. А. Кононенко

**В.М.Яковлев, В.Б.Малеев, С.С.Малыгин, А.С.Холоша.** Анализ эффективности гидроэлеваторов без диффузора при работе их в вакуумном режиме. В статье приведены результаты предварительных экспериментальных исследований работы струйных насосов без диффузора в вакуумном режиме, которые показали целесообразность проведения дальнейших исследований с целью разработки методики расчета для промышленных условий.

**гидроэлеватор, вакуум, скорость, диффузор**

**V.Yakovlev, V.Maleev, S.Malign, A.Kholosha.** The Performance of Jet Pumps without Diffusers in Vacuum Mode. The paper features a preliminary experimental study of diffuserless jet pumps performance in vacuum mode. The obtained results have confirmed the necessity of further investigations aimed at developing the calculation methods for industrial conditions.

**jet pump, vacuum, velocity, diffuser**

© В. М. Яковлев, В. Б. Малеев, С. С. Малыгин, А. С. Холоша, 2009