

УДК 622.276.05/.765.063

Приходько Анастасія Євгенівна, студентка; тел. +380636179831, e-mail: zettarok@gmail.com
 Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна.
 Проспект Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

Чернявський Анатолій Володимирович, канд. техн. наук, доц., доцент кафедри електропостачання.
 тел. +380509813908, e-mail: canatoliy@mail.ru (orcid.org/0000-0003-2858-8224)
 Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна.
 Вул. Борщагівська 115, м. Київ, Україна, 03056

ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКУ НА ККД ФЛОТАЦІЙНОГО ПРИСТРОЮ

В даній роботі був доведений позитивний вплив ультразвуку на ККД (коефіцієнт корисної дії) компактного флотаційного пристрою, використовуючи метод головних компонент в якості методу оцінки. Було побудовано дві моделі передбачення ККД флотаційного пристрою за методом проєкції на латентні структури для набору експериментів з- та без впливу ультразвуку на процес флотації, обидві з яких дали похибку в допустимих діапазонах.

Ключові слова: сепарація нафти, флотаційний пристрій, хемометрика, метод головних компонент, ультразвук.

Приходько Анастасія Євгенівна, студентка, тел. +380636179831, e-mail: zettarok@gmail.com
 Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» г. Киев, Украина.
 Проспект Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056

Чернявский Анатолий Владимирович, канд. техн. наук, доц., преподаватель кафедры электроснабжения.
 тел. +380509813908, e-mail: canatoliy@mail.ru (orcid.org/0000-0003-2858-8224)
 Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина.
 Ул. Борщаговская 115, г. Киев, Украина. 03056

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА КПД ФЛОТАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА

В данной работе было доказано положительное влияние ультразвука на КПД (коэффициент полезного действия) компактного флотационного устройства, используя метод главных компонент в качестве метода оценки. Было построено две модели предсказания КПД флотационного устройства по методу проекции на латентные структуры для набора экспериментов с- и без воздействия ультразвука на процесс флотации, обе из которых дали погрешность в допустимых диапазонах.

Ключевые слова: сепарация нефти, флотационное устройство, метод главных компонент, ультразвук.

Prykhodko Anastasiia Yevgenevna, student, phone +380636179831, e-mail: zettarok@gmail.com
 National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" Kyiv, Ukraine. 37, Prospect Peremohy, Kyiv, Ukraine, 03056

Cherniavskyy Anatolii Volodymyrovych, cand. sc. (eng.), assoc. prof., senior lecturer. Tel. +380509813908.
 E-mail: canatoliy@mail.ru (orcid.org/0000-0003-2858-8224)
 National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kiev, Ukraine. Borschagivska, 115, Kyiv, Ukraine, 03056.

THE EFFECT OF APPLYING OF ULTRASOUND TO THE COMPACT FLOTATION UNIT

The effect of usage of ultrasound together with compact flotation unit is studied in this paper. The principal component analysis is used as a tool for studying the possibility of increasing of cleaning efficiency of compact flotation unit. From the partial least squared regression model may be done the decision that the usage of ultrasound leads to increase of cleaning efficiency of compact flotation unit. The models for prediction the cleaning efficiency of compact flotation unit give results with error within acceptable ranges.

Key words: water treatment, flotation unit, principal component analysis, ultrasound.

Вступ

Видобуток нафти і газу безперервно збільшується з року в рік. Об'єми пластової води також збільшуються як побічний ефект видобутку нафти. Складові пластової води є основним джерелом забруднення в нафтовій і газовій промисловості, і вони є одним з важливих напрямків для вивчення сьогодні. Утворення відходів повинне бути зведене до мінімуму. Кілька технологій були винайдені для зниження концентрації нафти в пластовій

воді [1–12]. Компактний флотаційний пристрій (КФП) є однією з технологій отримання чистої пластової води за допомогою явища флотації [1].

Для контролю та управління КФП в наші дні використовується величезна кількість різних типів датчиків (тиску, потоку, щільності, температури, датчики Коріоліса). Метою роботи було вивчити можливість підвищення ККД (коефіцієнту корисної дії) КФП за допомогою використання додатково ультразвуку. В якості інструменту для онлайн-моніторингу процесу в КФП використовувалась хемометрика.

По-перше, хемометрика була використана як інструмент для моніторингу процесів в КФП і онлайн оцінки ефективності очищення КФП при звичному режимі роботи. Після альтернативний сценарій із застосуванням додатково ультразвуку був також використаний для досягнення тієї ж мети. Результати були порівняні і було знайдене оптимальне рішення серед досліджених.

Кожна альтернативна модель була відкалібрована на основі дизайну випадкових чисел (один набір налаштувань для обох варіантів), яка включала всю шкалу експлуатаційних умов, щоб зробити результат більш узагальненим.

Набір налаштувань складався з різних комбінацій налаштувань наступних параметрів:

- потік води з домішками на вході;
- потік газу на вході;
- потік відхилення.

Дані від кожного з експериментів були проаналізовані з використанням методу головних компонент (РСА), методу проєкції на латентні структури (PLS-R) і проаналізовано за допомогою методу сегментної перехресної перевірки. Оцінка моделі передбачення ККД очищення була зроблена за допомогою середньоквадратичної похибки RMSEP, коефіцієнта кореляції, нахилу «лінії мети», і векторів навантаження.

Матеріали та методи

Об'єктом дослідження є компактний флотаційний пристрій: вертикальний флотаційний пристрій для відділення нафти від води з використанням флотаційного газу. Флотаційний пристрій має менший розмір та менший час дії в порівнянні з іншими традиційними флотаційними пристроями.

1. Аналіз даних

Хемометрика була використана в якості інструменту для моніторингу потоку відхилення разом з датчиком Коріоліса. Даний метод має декілька переваг [11]:

- прогнози в реальному часі;
- емпірична модель.

Недоліком хемометрики є те, що вона потребує додаткових даних для побудови рівняння регресії. Метод проєкції на латентні структури був використаний для передбачення концентрації нафти в потоку відхилення.

Метод головних компонент (РСА)

Метод головних компонент (РСА) – це статистичний метод, що використовує ортогональні трансформації для перетворення набору даних змінних, що є можливо кореляційними, в набір значень лінійно незалежних змінних, що зветься головними компонентами. Головна мета методу головних компонент – знайдення «прихованої» інформації з даних [2].

Метод головних компонент базується на векторному розкладанні ковариаційної матриці змінних в наборі даних. Для матриці даних X з m рядків зразків і n стовпців змінних, ковариаційна матриця X визначається як

$$\text{cov}(X) = \frac{X^T X}{m-1} \quad (1)$$

Результатом процедури розкладання матриці X на головні компонента є так звані вектори рахунків та навантажень

$$X = t_1 p_1^T + t_2 p_2^T + t_3 p_3^T + \dots + t_k p_k^T + E \quad (2)$$

Тут t_i – вектора рахунків,
 p_i – вектор навантажень,
 E – це залишкова матриця.

Вектори рахунків та навантаження містять інформацію про те, як зрази і змінні, відповідно, пов'язані один з одним. Напрямок першої головної компоненти (t_1, p_1) це лінія на площині змінних, яка найкраще описує зміни в матриці даних X . Напрямок другої основної компоненти задається лінією, яка краще описує зміни не описані від першої головної компоненти і так далі. Таким чином, оригінальний набір даних може бути адекватно описаний використовуючи декілька ортогональних головних компонент замість вихідних змінних, без істотних втрат інформації. При побудові графіків залежностей даних головних компонент один проти одного, можна легко виявити відносини між зразками.

Метод проєкції на латентні структури (PLS)

Регресія використовується, щоб побудувати моделі для виявлення кількісних відносин між двома групами змінних (знаходження даних з матриці X , які мають відношення до вихідного вектора y). Регресійна модель може потім бути використана для прогнозування властивостей нових зразків.

В цьому дослідженні використовується метод проєкції на латентні структури (PLS). У PCA рахунки та навантаження – це вектори, які найкраще описують дисперсію в X матриці. В PLS рахунки і навантаження (називаються латентними змінними) – це вектори, які мають найвищий коваріацію з вектором y . Розкладання відбувається використовуючи регресію між латентними змінними та між латентними змінними і вихідного вектора [4].

Для кожної моделі визначається оптимальна кількість латентних змінних. Один зі способів зробити це перехресна перевірка. Перехресна перевірка перевіряє модель, неодноразово приймаючи різні підмножини зразків з стадії калібрування, і замість використовуючи їх в якості тимчасового тестового набору зразків. Якщо оцінки параметрів моделі є стабільними проти повторних змін підмножин, це вказує на те, що модель надійна.

Всі дані в цьому дослідженні були проаналізовані з використанням Unscrambler X (CAMO ASA).

2. Модель тестового кола з компактним флотаційним пристроєм

Модель тестового кола з КФП є наступною (принципова схема тестового кола приведена на рис. 1).

Хімікати та сіль спочатку додаються до води, щоб полегшити флотацію та зімітувати солону морську воду. Далі додається нафта в трубу з водою та багатофазна рідина поступає до флотаційної установки. Флотаційний газ також додається для покращення сепарації. В пристрій для дегазування подається рідина з флотаційного пристрою, а з цього пристрою вода та газ поступають до ємностей, звідки вони подавалася спочатку, тим самим утворюючи коло.

Флотаційний пристрій може працювати з різними потоками рідини, максимальна з яких $6 \text{ м}^3/\text{год}$. Вхідна рідина складається з пластової води, нафти та азоту.

Потік відхилення складається з нафти, води та флотаційного газу. Потік відхилення вилучається з пристрою за допомогою труби зверху ємності.

3. Вплив ультразвуку на сепарацію води від нафти

Припустимо, що акустичні хвилі впливають на рідину та визивають коливання поверхні бульбашки, який при цьому має форму багатогранників.

При цьому спостерігається ефект, який прийнято називати «огранюванням» [1]. Тобто, вібруюча оболонка бульбашки приймає виразні контури плоских граней, хоча в даний момент ці грані (вся бульбашка) здійснюють коливання з певною частотою. Явище «огранювання» з'являється при резонансі співпадаючих частот коливань рідини і власних коливань оболонки бульбашки. При цьому окремо взята грань бульбашки коливається від повного сферичного положення (2) до увігнутого положення (3), проходячи при цьому проміжне положення (4), яке зазвичай називають резонансним. На рис. 2 показаний один з варіантів майже кубічної форми. При цьому помітно, що коливання оболонки бульбашки

змушують лінії струму рідини (3) скривлюватися (4) і наближатися до бульбашки, повторюючи зміни кривизни її оболонки. Це дозволяє осідати на бульбашці малим частинкам, які раніше (без застосування коливань – рис. 3) проходили повз бульбашки, огинаючи його разом з потенційним потоком рідини.

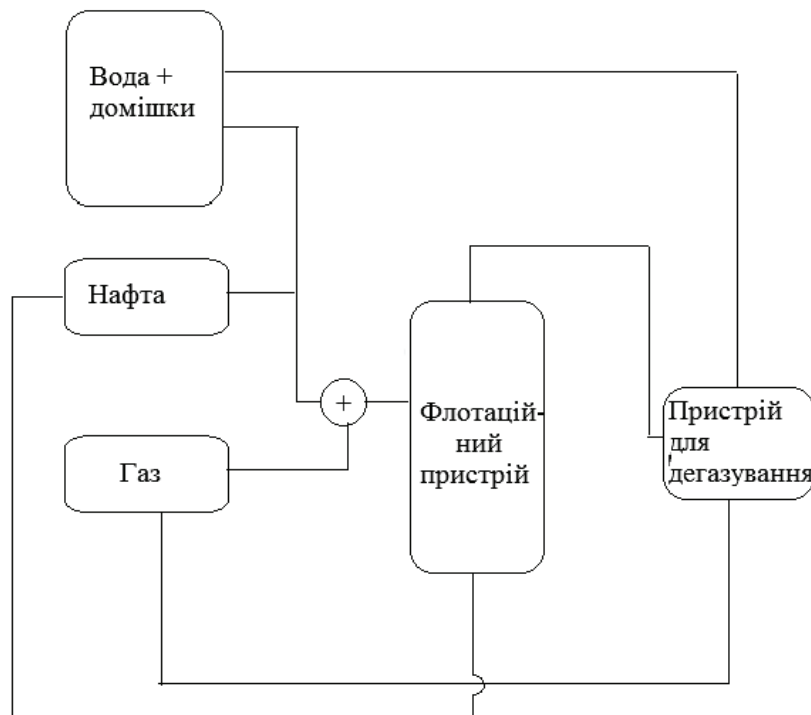


Рис.1. Принципова схема тестового кола

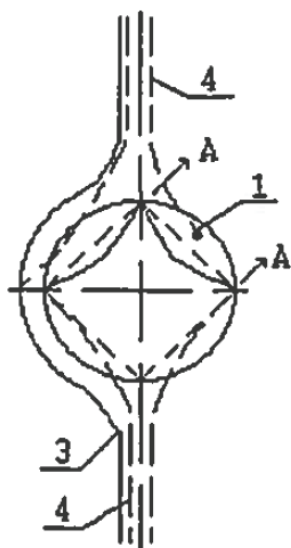


Рис. 2 – Модель бульбашки під дією акустичних коливань: 1 – частка нафти; 2 – поверхня бульбашки газу від дією акустичних коливань; 3 – шлях потоку рідини; 4 – поверхня бульбашки без впливу акустичних коливань [1]

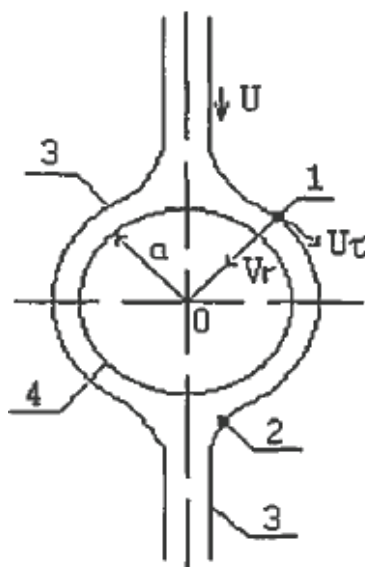


Рис. 3– Модель бульбашки без впливу на неї акустичних коливань: 1, 2 – частки; 3 – шлях руху рідини; 4 – поверхня бульбашки [1]

4. Експериментальний дизайн

В експериментах ККД КФП був обраний в якості вихідної величини. Набір налаштувань для експериментів був наступним (див. табл. 1):

- Величина потоку технічної води, що подається до установки (серед 2, 4, 6 м³/год).
- Величина потоку флотаційного газу, що подається до установки (серед 5, 9, 12 % від величини потоку технічної води).
- Величина потоку відхилення (серед 0,5%, 1, 1,5% від величини вхідного потоку технічної води відповідно).

Послідовність налаштувань в ході експериментів була випадково обрана, щоб зменшити будь-яку форму систематизованого впливу на експеримент. Експериментальний дизайн робився для першого експерименту, та налаштування повторювались в точності для другого.

Кожний запис зразків проводився тільки після стабілізації показників потоку, тиску.

Таблиця 1

Налаштування для експериментів

№	Потік флот. газу, %	Потік рідини, м ³ /год.	Потік відхилення, %	№	Потік флот. газу, %	Потік рідини, м ³ /год.	Потік відхилення, %
Група 1				Група 4			
1	5	2	0,5	24	12	6	1,5
3	5	2	1	22	12	6	0,5
5	9	2	1,5	20	9	6	0,5
7	12	2	1	Група 5			
9	12	2	1,5	18	12	4	1,5
Група 2				16	9	4	1,5
11	5	4	1	14	9	4	0,5
13	5	4	1,5	12	5	4	1,5
15	9	4	1,5	10	5	4	0,5
17	12	4	0,5	Група 6			
Група 3				8	12	2	1
19	6	12	2	6	12	2	0,5
21	4	9	2	4	9	2	0,5
23	2	5	2	2	5	2	0,5
25	12	6	1,5				

Результати

Для визначення можливості передбачення потоку відхилення спочатку був використаний метод головних компонент, метою якого було визначення кореляційних зв'язків між показами датчиків та впливом ультразвуку на процеси в КФП.

З рис. 4 та рис. 5 видно, що при однакових вхідних умовах для КФП, ККД пристрою з використанням ультразвуку (рис. 5, а) є більшим ніж без використання (рис. 4, а). Крім того, можна зазначити, що головна компонента 1 на рис 4 б) та 5 б) (з рис. 6 видно, що головними

змінними є сукупність датчиків тиску та датчиків потоку) має той самий тренд, що й ККД пристрою на рис. 4 а) та 5 а) відповідно. Цей факт може свідчити про те, що ККД пристрою може бути визначена непрямим шляхом.

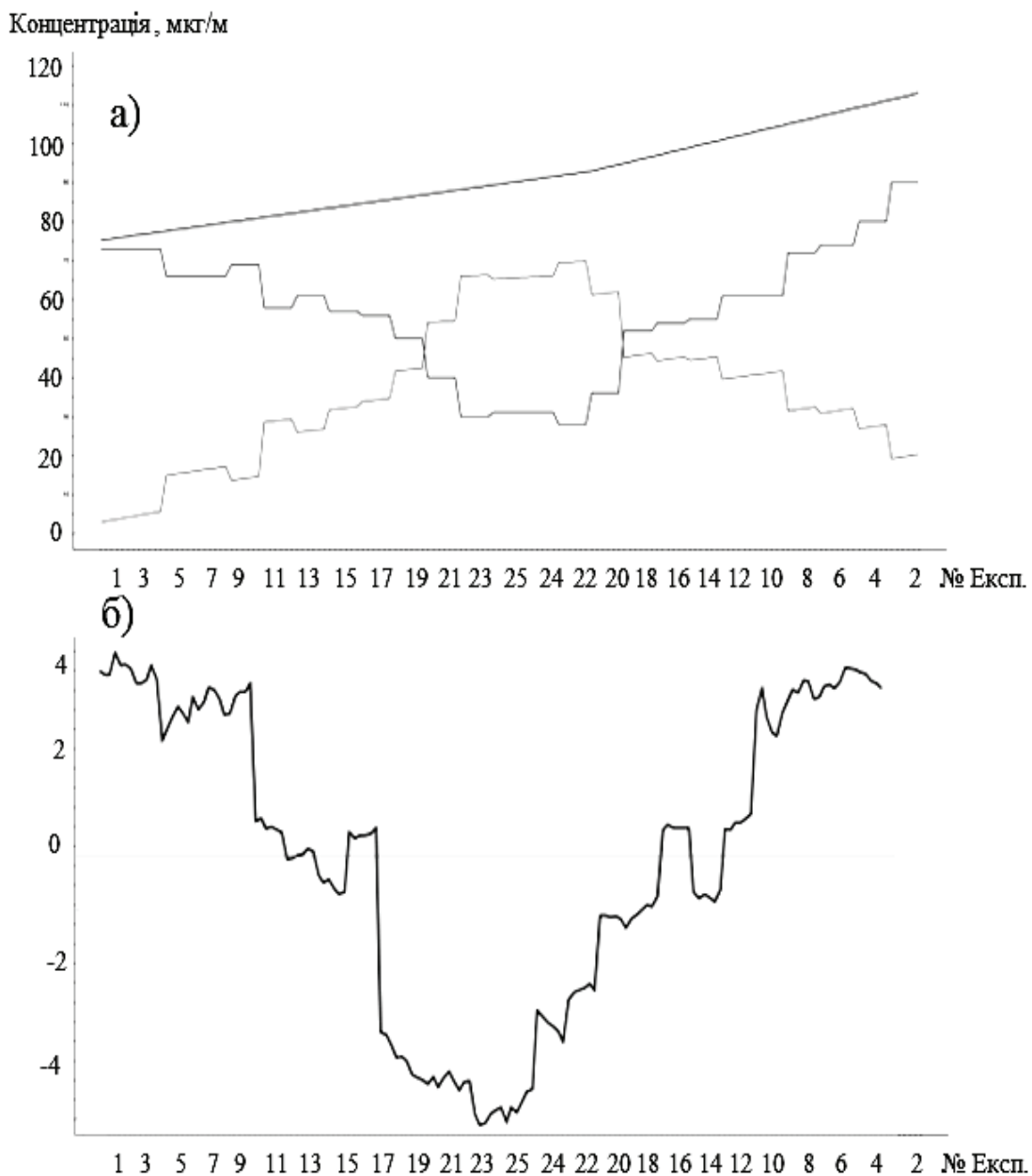


Рис. 4. Модель без використання ультразвуку:
 а) графік залежності величин від часу: вхідна концентрація нафти (1), вихідна концентрація нафти (2), ККД установки (3);
 б) графік рахунків принципової компоненти 1 від часу

Далі були побудовані моделі для передбачення концентрації нафти в потоці відхилення. На рис. 7 показано, що в моделі без використання ультразвуку похибка передбачення дорівнює 3 (при діапазоні значень 30-85), що є задовільним результатом.

Для моделі з використанням ультразвуку похибка склала 2,8 (при діапазоні значень 20-68), що також свідчить про можливість передбачення концентрації нафти в потоці відхилення з задовільною точністю (рис. 8).

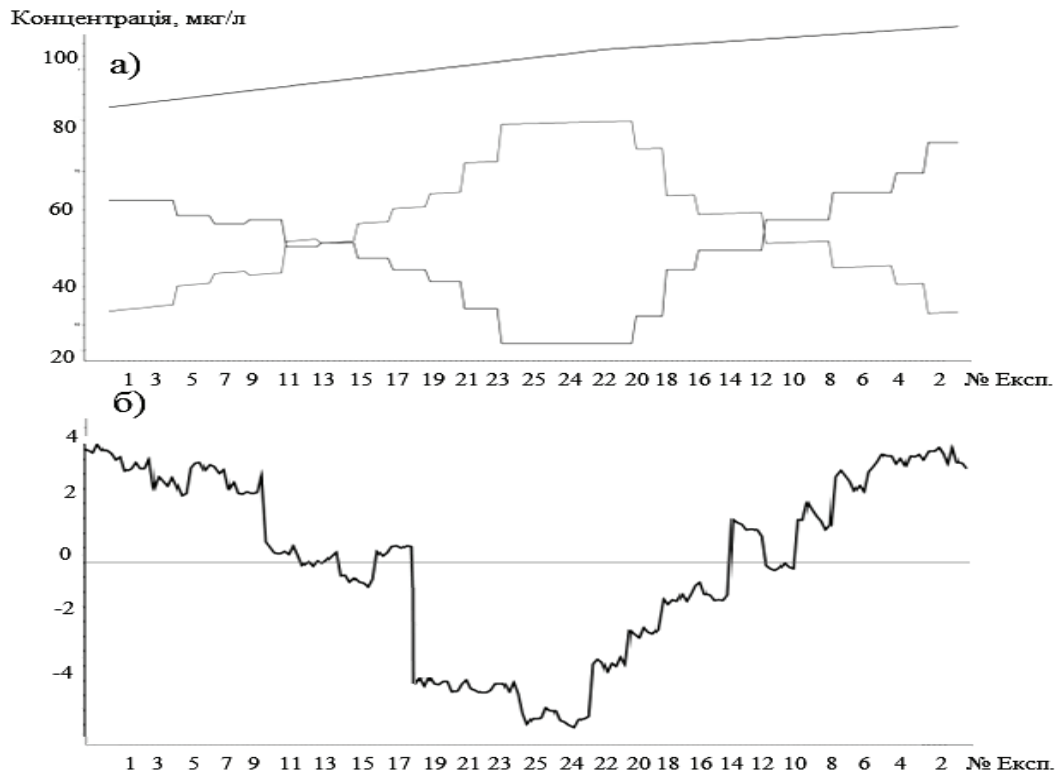


Рис. 5. Модель з використанням ультразвуку
 а) графік залежності величин від часу: вхідна концентрація нафти (1), вихідна концентрація нафти (2), ККД установки (3);
 б) Графік рахунків принципової компоненти 1 від часу

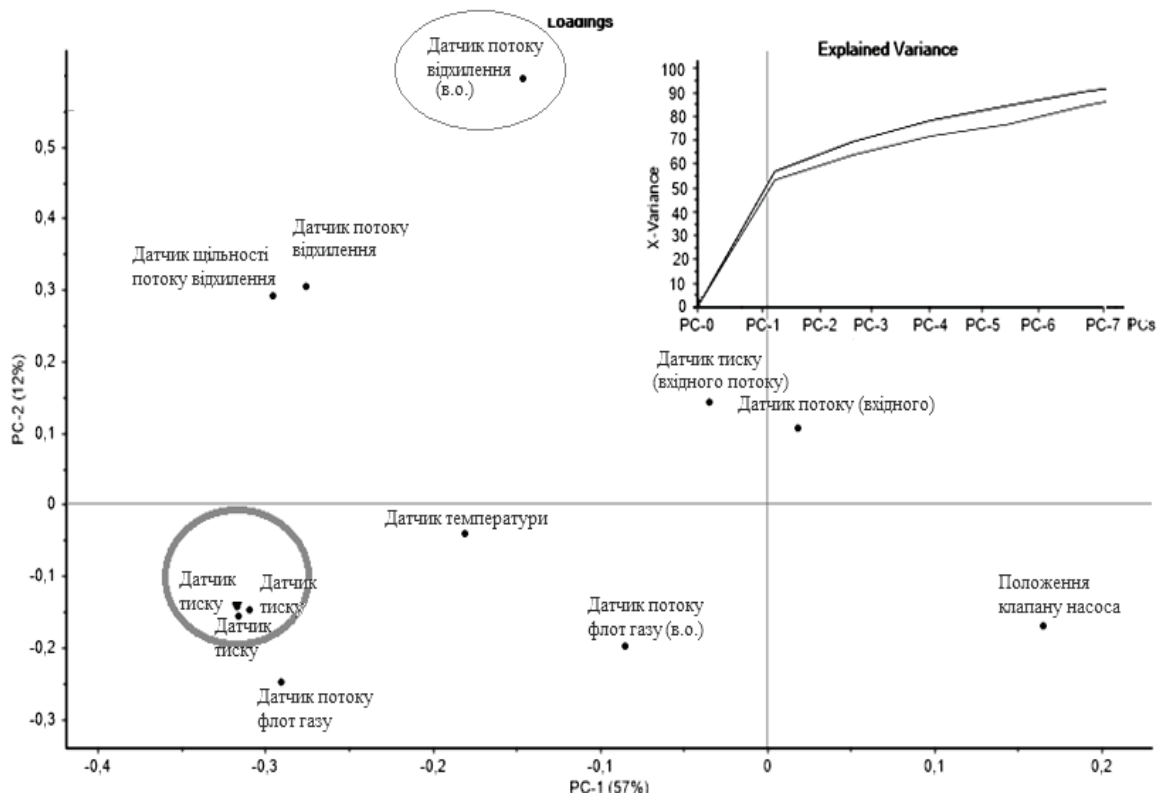


Рис. 6 – Графік навантажень. (В правому верхньому куті – графік загальної поясненої дисперсії)

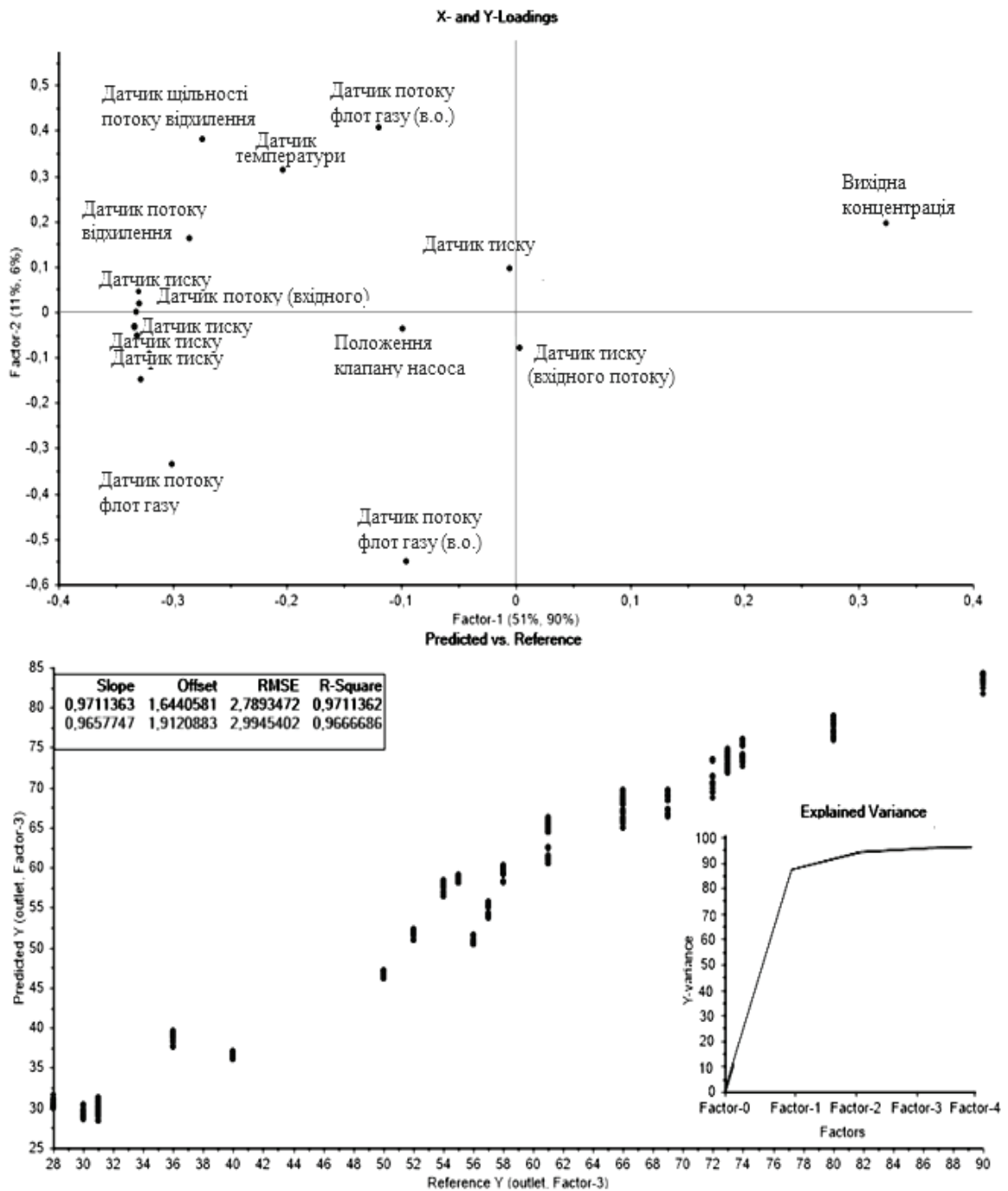


Рис. 7. Модель за методом проєкції на латентні структури (без впливу ультразвуку) – Графік впливів(вгорі) та графік залежності прогнозованих від вимірних величин (внизу)

Висновки

В даній роботі був доведений позитивний вплив ультразвуку на ККД компактного флотаційного пристрою. Було побудовано дві моделі за методом проєкції на латентні структури, обидві з яких давали похибку в допустимих діапазонах. Емпіричним шляхом доведено, що ультразвук сприяє збільшенню ККД флотаційного пристрою.

Для подальшого вивчення впливу ультразвуку можуть бути досліджені різні форми ультразвукових джерел, різні варіанти розташування джерел відносно флотаційного пристрою, досліджена можливість попередньої обробки рідини ультразвуком.

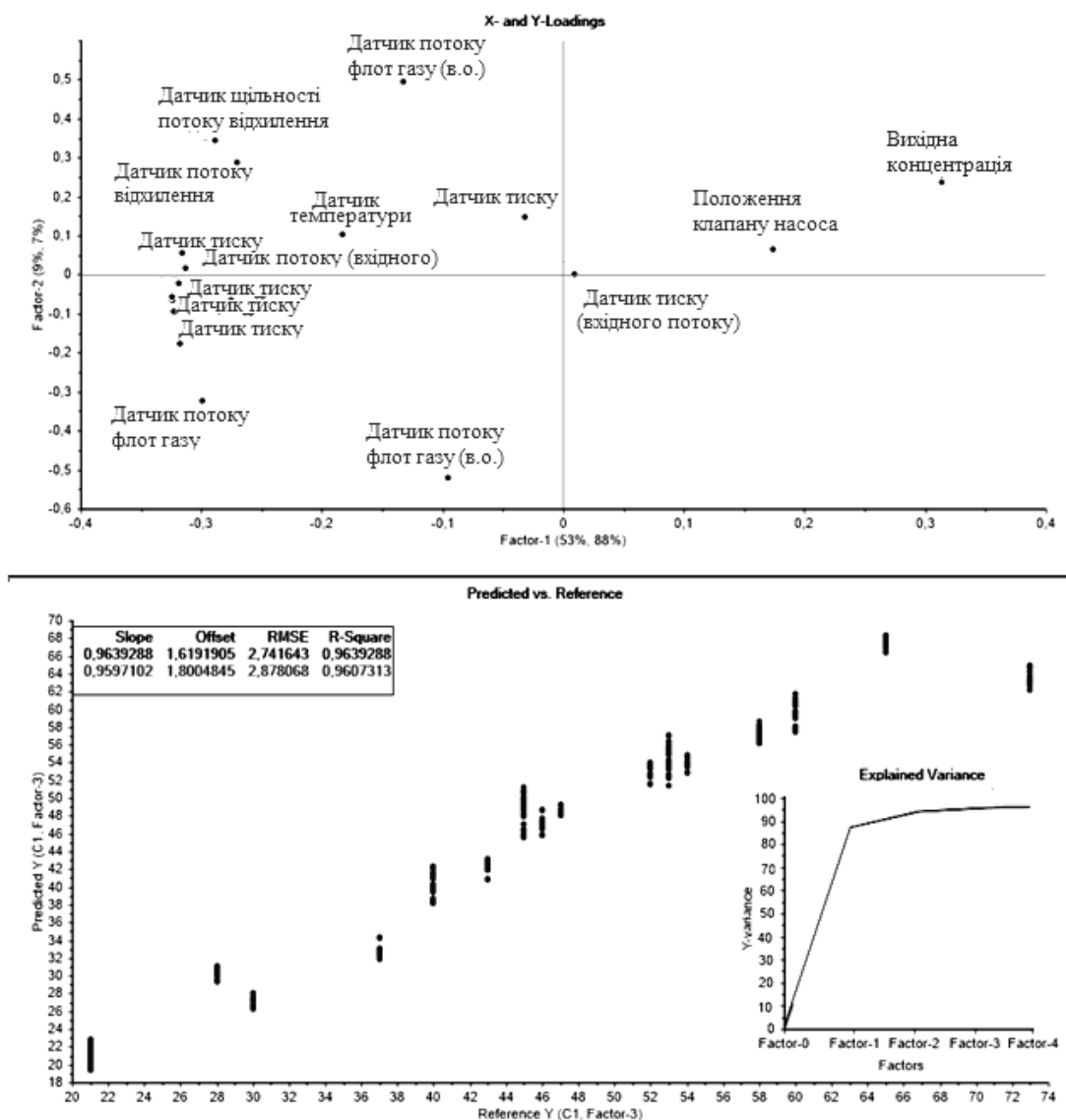


Рис. 8. Модель за методом проєкції на латентні структури (з впливом ультразвуку). Графік впливів(вгорі) та графік залежності прогнозованих від вимірних величин (внизу)

Перелік використаних джерел:

1. Белокожая Нина Витальевна. Интенсификация очистки нефтесодержащих сточных вод методом флотации с использованием виброакустического эффекта : 05.23.04.– Иркутск, 2003.– 133 с.: ил. РГБ ОД, 61 03-5/3044-5
2. Henry M., Tombs M., Zamora M. and Zhou F. (2013) "Coriolis mass flow metering for three-phase flow: A case study", *Flow Measurement and Instrumentation*.
3. Ifeachor E., Jervis B. (2002) "Digital signal processing—a practical approach. 2nd ed. England", *United Kingdom: Pearson Education*, P. 690–703.
4. "Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems", available at: <http://www.elsevier.com/locate/chemolab>
5. Available at: <http://www.elsevier.com/locate/chemolab>
6. "Virtual Computational Chemistry Laboratory", available at: <http://www.vcclab.org/lab/pls/>
7. Available at: <http://www.elsevier.com/locate/flowmeasinst>
8. Eriksson, L., Johansson E., Kettaneh-Wold N. and Wold S. (2001), "Multi- and megavariate data analysis: Principles and applications", Umeå: Umetrics.
9. Wold S., Sjöström, M. Eriksson, L. (2001) "PLS-regression: a basic tool of chemometrics. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems", *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 58, P. 109–130.
10. Lundstedt T., Seiferta E. (1998) "Experimental design and optimization", *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 42, issues 1–2, P. 3–40.

11. Kettaneha N., Berglundb A., Woldb S. (2005) "PCA and PLS with very large data sets", *Computational Statistics & Data Analysis*, vol. 48, issue 1, P. 69–85.

12. Tan C., Li P., Dai W. and Dong F. (2015) "Characterization of oil–water two-phase pipe flow with a combined conductivity/capacitance sensor and wavelet analysis", *Chemical Engineering Science*, vol. 24, P. 395–458.

Referenses:

1. Belokaya Nina Vitalevna. Intensification of cleaning of neftesoderzhaschikh sewages by the method of flotacii with the use of vibroacoustic effect [Intensifikatsiya ochistki neftesoderzhashshikh stochnykh wod metodom flotatsii s ispolzovaniem vibroakusticheskogo effekta] //: 05.23.04.- Irkutsk, 2003.– 133 с.: ил. RML ОД, 61 03-5/3044-5

2. Ifeachor E., Jervis B. (2002) "Digital signal processing—a practical approach. 2nd ed. England", *United Kingdom: Pearson Education*, P. 690–703.

3. "Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems", available at: <http://www.elsevier.com/locate/chemolab>

4. Available at: <http://www.elsevier.com/locate/chemolab>

5. "Virtual Computational Chemistry Laboratory", available at: <http://www.vcclab.org/lab/pls/>

6. Available at: <http://www.elsevier.com/locate/flowmeasinst>

7. Eriksson L., Johansson E., Kettaneh-Wold, N. and Wold S. (2001), "Multi- and megavariate data analysis: Principles and applications", Umeå: Umetrics.

8. Wold S., Sjöström M., Eriksson L. (2001) "PLS-regression: a basic tool of chemometrics. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems", *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 58, P. 109–130.

9. Lundstedt T., Seiferta E. (1998) "Experimental design and optimization", *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 42, issues 1–2, P. 3–40.

10. Kettaneha N., Berglundb A., Woldb S. (2005) "PCA and PLS with very large data sets", *Computational Statistics & Data Analysis*, vol. 48, issue 1, P. 69–85.

11. Henry M., Tombs M., Zamora, M. and Zhou, F. (2013) "Coriolis mass flow metering for three-phase flow: A case study", *Flow Measurement and Instrumentation*.

12. Tan C., Li P., Dai, W. and Dong, F. (2015) "Characterization of oil–water two-phase pipe flow with a combined conductivity/capacitance sensor and wavelet analysis", *Chemical Engineering Science*, vol. 24, P. 395–458.

Поступила в редакцию 20.05 2015 г.