

**Одеська національна академія  
харчових технологій**

**Олексова Катерина Олексіївна**

**УДК 663.241:015.23**

**ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ АПАРАТИ І ГІДРОДИНАМІКА В УМОВАХ КОМБІНУВАННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ  
ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

05.18.12 - процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**дисертації на здобуття наукового ступеня**  
**кандидата технічних наук**

**Одеса - 2003**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській державній академії будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник** - кандидат технічних наук, доцент  
**Арсирій Василь Анатолійович**, Одеський національний політехнічний університет, докторант кафедри теплових електричних станцій і енергозберігаючих технологій

**Офіційні опоненти** - доктор технічних наук, професор  
**Бурдо Олег Григорович**, Одеська національна академія харчових технологій,  
завідувач кафедри процесів і апаратів

- кандидат технічних наук, доцент  
**Бутенко Олександр Григорович**, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри прикладної екології і гідрогазодинаміки

**Провідна установа:** - Одеська державна академія холоду, кафедра теплофізики,  
Міністерство освіти і науки України, м. Одеса

Захист відбудеться 20.03.2003 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 в Одеській національній академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса-39, вул. Канатна, 112

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса-39, вул. Канатна, 112

Автореферат розісланий 15.02.2003 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
д.т.н., проф.

Гапонюк О.І.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Підвищення ефективності (ККД) обладнання і технологічних систем - одна з найбільш актуальних проблем сучасності. За останнє десятиліття, після різкого підвищення цін на енергоносії, енергетична складова в собівартості харчової продукції в Україні виросла в 10...20 разів і в даний час складає більш 25%, що в 4 рази вище, ніж у середньому по Європі й у 6 разів, ніж у Франції. Тому харчові продукти, виготовлені в Україні, мають низьку конкурентноздатність на світовому ринку. Одним з напрямків енергозбереження є комбінування транспортних і технологічних функцій в одному апараті з метою зниження

сумарних енерговитрат.

Для розгляду можливості комбінування транспортних і технологічних функцій обраний струминний апарат, що дозволяє, крім транспортування, забезпечити змішання, дозування, сатурацію й інші технологічні функції. При наявності стиснутого повітря на підприємстві і необхідності аерації доцільно використовувати ерліфт для підйому середовищ, що транспортуються. Струминний апарат і ерліфт прості у виготовленні, а відсутність рушійних частин дозволяє забезпечити їхню тривалу роботу без спеціального обслуговування і ремонту. Однак, незважаючи на перераховані переваги, ці нагнітачі рідко використовуються через їхню низьку ефективність. При необхідності використання повітря для технологічних процесів доцільно комбінувати транспортні і технологічні функції в простих нагнітачах.

Існуючі методики проектування гідравлічних систем і конструювання гідравлічних і аеродинамічних апаратів засновані на використанні даних гідравлічних довідників, у яких застосовані традиційні елементи гідравлічних систем з фіксованими значеннями коефіцієнтів гідравлічних опорів. Можливості, що з'явилися, істотного зниження коефіцієнтів гідравлічних опорів елементів системи порушують питання про необхідність методики розрахунку й аналізу ефективності гідравлічної системи в цілому.

**Зв'язок роботи з науковими програмами.** Дисертаційна робота виконана згідно з законом України від 11.07.2001р. № 2623-III про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки за 6 розділом: "Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі".

**Мета і задачі досліджень** - розробка методів конструювання енергоефективних апаратів, що комбінують технологічні і транспортуючі функції.

Поставлена мета вимагає рішення таких задач:

1. Аналіз існуючих методів розрахунку ефективності.
2. Дослідження структури потоку в проточних частинах:
  - а) ерліфта;
  - б) струминного апарата.
3. Математичне моделювання параметрів струминного апарата.
4. Пошуки шляхів комбінування транспортних і технологічних функцій у ерліфті і струминному апараті.

*Об'єкт досліджень* - ерліфт і струминний апарат, як нагнітачі, що забезпечують транспортування і технологічні процеси харчових і мікробіологічних виробництв.

*Предмет досліджень* - гідродинамічна структура потоків у струминних апаратах і ерліфтах при комбінуванні транспортних і технологічних функцій.

*Методи досліджень:*

- Математичне моделювання ефективності гідравлічної системи на основі ККД нагнітача і коефіцієнтів ефективності окремих елементів системи;
- Фізичне моделювання (метод візуалізації) структури потоків в елементах проточних частин апаратів;
- Математичне моделювання змішування і транспортування потоків у струминному апараті;
- Фізичне моделювання на експериментальних стендах і реальному обладнанні.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що

- розроблений метод розрахунку ефективності системи на основі ККД нагнітача і коефіцієнта ефективності елементів системи;
- виявлена невідома раніше закономірність організації структури потоків в елементах проточних частин ерліфта, струминного апарата та її вплив на їхню ефективність;
- використана модель ідеальної ежекції і методика перерахування параметрів струминного апарата з урахуванням процесів змішання і транспортування для побудови номограм;
- науково обґрунтоване комбінування транспортних і технологічних функцій в одному

апараті (ерліфт, струминний апарат).

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

1. Одержана методика оцінки ефективності системи на основі ККД нагнітача і коефіцієнтів ефективності окремих елементів системи дозволяє аналізувати витрати електроенергії.

2. Оптимізація геометрії проточної частини ерліфта дозволяє збільшити його ефективність до  $\eta = 75\%$ , а струминного апарата – до  $\eta = 47\%$ .

3. За допомогою побудованих розрахункових номограм можливий підбір струминних апаратів традиційної і спеціальної конструкції.

4. Комбінування транспортних і технологічних процесів дозволяє спростити цикли харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв за рахунок

Результати досліджень щодо збільшення ефективності ерліфта використані на СБО “Південна” (м. Одеса). Їхнє впровадження дозволило знизити витрату електроенергії при роботі ерліфта вдвічі, що складає 10% загальних витрат станції. Використання системи ерліфт - струминний апарат - відцентровий насос дозволить збільшити діапазон регулювання ерліфта і знизити подачу в ерліфт повітря до мінімуму в періоди максимальних навантажень і в літню пору. Струминний апарат (ежектор) прийнятий до впровадження на Одеському портовому елеваторі в системі аспірації повітря в районі вивантаження зерна з вагонів, що дозволить збільшити продуктивність системи аспірації на 25%. Прийнятий до впровадження струминний апарат для нормалізації молока на АТЗТ “Полярна зірка”. Сполучення транспортних і технологічних функцій в апараті дозволить знизити енерговитрати при виробництві пастеризованого молока.

**Особистий внесок здобувача.** Автором роботи зроблений критичний аналіз існуючих методів розрахунку ефективності гідравлічної системи. Автор особисто виконала експериментальні дослідження, зробила обробку й узагальнення отриманих результатів, сформулювала основні положення дисертації і висновки. У статтях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає в проведенні експериментів, аналізі й узагальненні отриманих даних.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи й основні положення дисертації доповідалися на Міжнародній науково-практичній конференції “Актуальні проблеми водопостачання і водовідведення” (Одеса, 1999), на 55 науково-технічній конференції Харківського державного технічного університету будівництва й архітектури “Людина і навколишнє середовище” (Харків, 2000), III Міжнародної виставки-конференції “Вода 2000” “Актуальні проблеми водопостачання і водовідведення”, на Міжнародній науково-методичній конференції “Удосконалення підготовки фахівців” (Одеса, 2001), на науковому семінарі “Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв” (Одеса, 2001), на 62 науковій конференції Одеської державної академії харчових технологій: секція “Процеси та апарати” (Одеса, 2002).

**Публікації.** За результатами роботи опубліковано десять друкованих праць у різних видавництвах України, з них шість статей опубліковано в професійних науково-технічних виданнях, що входять до відповідного переліку ВАК України.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури і 7 додатків (32 стор.); уміщає 10 таблиць (8 стор.) і 40 рисунків (21 стор.). Загальний обсяг дисертації - 175 сторінок. Список використаних бібліографічних джерел включає 114 найменувань (11 стор.)

## ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована доцільність використання нагнітачів - ерліфта і струминного апарата - в різних технологічних схемах. Описано проблеми, що обмежують використання ерліфта і струминного апарата, перспективи підвищення їхньої ефективності і діапазону регулювання продуктивності, а також сполучення транспортних функцій цих нагнітачів з технологічними процесами.

У **першому розділі** дисертації досліджені проблеми конструювання й експлуатації ерліфтів і струминних апаратів. Ці апарати дешевше насосів і мають малі експлуатаційні витрати, тому що не вимагають спеціального обслуговування. Однак досвід провідних вчених і фахівців таких як: Шоу С.Ф., Суреньянц Я.С., Зінгер М.М., Подвідз Л.Г., Лямаєв Б.Ф. показує, що традиційні підходи до проектування цих нагнітачів не дають можливості забезпечити їхню ефективність більш 30%. Проблеми конструювання розглянутих апаратів у значною мірою зв'язані з недостатньою вивченістю закономірностей організації структури потоків у їхніх проточних частинах.

Проведено аналіз способів проектування проточних частин різних апаратів і пристроїв. Проаналізовано існуючий рівень виявлення закономірностей організації структури потоків, а також вплив структури потоків на енергетичні і технологічні параметри роботи устаткування. Розглянуто методи розрахунку ефективності, як окремих елементів різних гідравлічних апаратів, так і всієї гідравлічної системи в цілому.

На основі проведеного аналізу сформульовані задачі досліджень для розробки методів розрахунку і конструювання нових апаратів з метою підвищення ефективності, розширення діапазону регулювання продуктивності, а також можливість сполучення транспортних функцій з технологічними процесами - сатурації, абсорбції, перемішування, гомогенізації та ін.

В **другому розділі** розроблена методика розрахунку ефективності гідравлічної системи. При проектуванні технологічних систем основними показниками використовуються ефективність (ККД) нагнітача і прийняті з довідників величини коефіцієнтів гідравлічних опорів  $\zeta$  і  $\lambda$ . При розрахунку ефективності нагнітачів (насосів) корисною роботою вважається витрата  $Q$  і напір  $H = H_r + h_w$ . Однак, в практиці прийнято відносити утрати напору в системі  $h_w$ , що визначаються величинами  $\zeta$  і  $\lambda$ , до корисних параметрів. Далі в третьому розділі буде показано, що значення  $\zeta$  і  $\lambda$  можна істотно зменшити в порівнянні з довідковими даними за рахунок оптимізації геометрії проточних частин.

Ефективності окремих елементів системи (повороти, вентилі та ін.) не розраховуються, а характеризуються тільки величинами коефіцієнтів гідравлічних опорів. Для представлення ефективності окремих елементів системи  $\eta_i$  запропоновано використовувати величини коефіцієнтів швидкості  $\varphi$ .

Проведено аналіз декількох відомих варіантів залежностей (формули 1, 2) ефективності  $\eta_i$  від величин коефіцієнтів гідравлічних опорів  $\lambda_r$ ,  $\zeta_r$ .

$$\eta_i = \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta}} \quad (1)$$

$$\eta_i = \varphi = \frac{1}{\sqrt{\zeta}} \quad (2)$$

На графіках (рис. 1а) показано, що ефективність елементів може розраховуватися за

формулою 1, тому що при зменшенні величини коефіцієнта гідравлічного опору ефективність елемента прагне до 1. Формула 2 не прийнятна для розрахунку ефективності елементів гідравлічних систем, тому що гранична ефективність прагне до  $\infty$ .

На основі аналізу законів збереження енергії і нерозривності розроблена узагальнена формула ефективності системи.

$$\frac{1}{\eta_{\text{сист}}^2} = \frac{1}{\eta_{\text{нас}}^2} + \sum_{i=1}^k \left( \frac{1}{\eta_i^2} - 1 \right) \quad (3)$$

У формулі (3) враховуються ефективність (ККД) насоса  $\eta_{\text{нас}}$ , ефективності окремих елементів системи  $\eta_i$  - поворотів, вентилів, тепломасообмінних апаратів і ін. На рис. 1б представлений аналіз ефективності системи  $\eta_{\text{сист}}$ , у якій використовується нагнітач із ККД  $\eta_{\text{нас}} = 0,8$ . При наявності в цій системі 10 елементів з ефективністю  $\eta_i = 0,65$  ( $\zeta_i = 1,4$ ), загальна ефективність системи складе  $\eta_{\text{сист}} = 0,23$ . Використання в цій системі десяти елементів з коефіцієнтом гідравлічного опору  $\zeta_i = 0,08$  ( $\eta_i = 0,96$ ) дозволяє збільшити загальну ефективність системи до  $\eta_{\text{сист}} = 0,67$ .

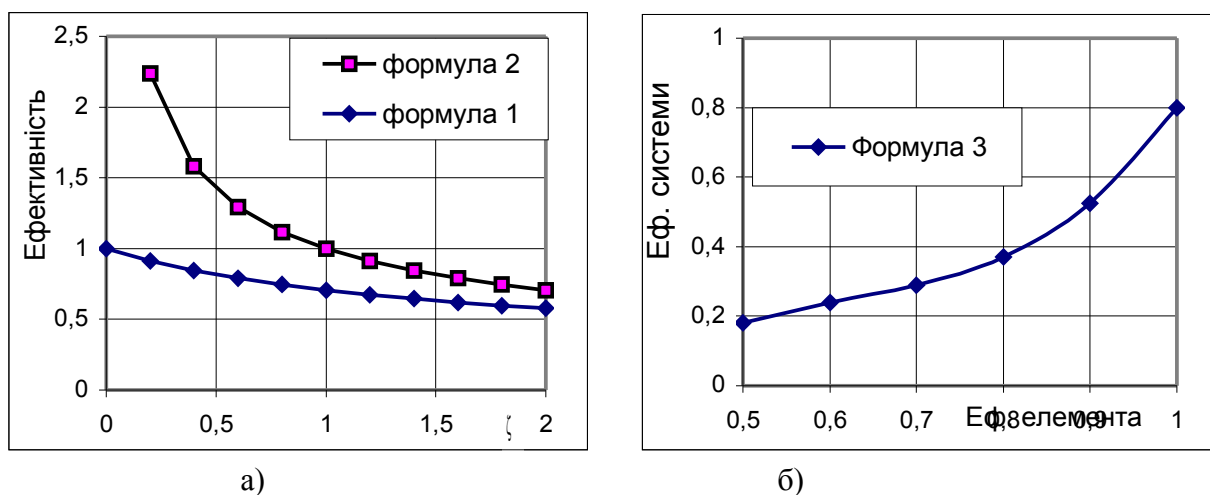


Рис. 1. Взаємозв'язок ефективності і гідравлічних опорів системи і її елементів

У граничному випадку, коли сума коефіцієнтів гідравлічних опорів елементів системи дорівнює 0, ефективність системи дорівнює ефективності нагнітача  $\eta_{\text{нас}} = 0,8$ .

У **третьому розділі** описані методи фізичного моделювання процесів у струминних апаратах і ерліфтах з використанням візуалізації структури потоків. Оптимізація проточних частин на основі візуальних досліджень структури потоків дозволяє знижувати величини коефіцієнтів гідравлічних опорів і відповідно підвищувати їхню ефективність.

Візуалізація заснована на просвічуванні поляризованим світлом оптично активної рідини - водяного розчину оксиду ванадію  $V_2O_5$ . Для досліджень виготовляється спеціальний моделюючий пристрій, у якому оптично активна рідина рухається з заданими гідродинамічними параметрами. Процес руху фотореєструється та аналізується. Виходячи з величин оптичної щільності (інтенсивності білого чи сірого кольору), світлі області характеризують позитивні градієнти швидкості в даній точці, темні області - негативні градієнти швидкості. Таким чином, отримані візуальні картини структури потоків (рис. 2) характеризують поле миттєвих значень градієнтів гідродинамічних параметрів - швидкості або

тиску.

Для підвищення ефективності ерліфта проведені візуальні дослідження структури потоків у повороті на  $90^\circ$ . У повороті традиційної форми (рис.2а) діагностовано зони відриву потоку, де відбувається максимальна дисипація енергії. Величина коефіцієнта гідравлічного опору такого повороту  $\zeta = 1,4$ . На рис.2б показана нова геометрія вхідної ділянки ерліфта з оптимізованою кінематичною картиною розподілу суміші рідини і повітря. Величина коефіцієнта гідравлічного опору в рекомендованому повороті оптимізованої форми  $\zeta < 0,08$ .

а)  $\zeta = 1,4$  ( $\eta = 0,65$ )

б)  $\zeta = 0,08$  ( $\eta = 0,96$ )

Рис. 2. Візуальна картина структури потоку оптично активної рідини вхідної ділянки ерліфта:  
а) існуючий поворот; б) оптимізований поворот

Візуальні дослідження структури потоків струминного апарата (рис. 3) показали доцільність визначення геометричних розмірів зони залучення - 3 з урахуванням поздовжніх дискретних структур - 2, а також сполучення традиційних елементів струминного апарата - камери змішання - 4 і дифузора - 5 і визначення їхньої геометрії з урахуванням поперечних структур - 1 (ліній току).

Рис. 3. Візуальна картина структури потоку оптично активної рідини в струминному апараті.

Облік поперечних - 1 і поздовжніх - 2 структур потоку дозволяє спростити конструкцію струминного апарата і підвищити його ефективність.

**Четвертий** розділ присвячений розробці розрахункової методики побудови номограм струминних апаратів нетрадиційної конструкції на основі моделі ідеальної ежекції, коли втрати енергії дорівнюють нулю.

Для розробки розрахункової методики використовуються:

1. Рівняння нерозривності  $Q_1 + Q_2 = Q_3$ ;

2. Рівняння відповідності моментів імпульсів зміні кількості руху

$$\rho_3 S_3 - \rho_1 S_1 - \rho_2 S_2 = \rho_1 V_1 Q_1 + \rho_2 V_2 Q_2 - \rho_3 V_3 Q_3$$

3. Основу розрахунку складає нова фізична модель розподілу енергій між потоками у вигляді:

$$E_1 = E_2 + E_3 \tag{4}$$

На рис. 5 показана конструкція струминного апарата і схема представлення нової фізичної моделі розподілу параметрів і енергій між потоками.

Для заданих геометричних параметрів струминного апарата ( $S_1, S_2 \dots$  - площі поперечного переріза сопла і кільця відповідно,  $k = S_2/S_1$  - модуль струминного апарата) методом ітерацій розраховується збіжність розхідних, імпульсних і енергетичних параметрів (трьох основних рівнянь) взаємодіючих потоків для перерізу в області ежекції на вході в камеру змішання. Отримані параметри витрат  $Q_1, Q_2, Q_3$  і ідеальних напорів  $H_1', H_2', H_3'$  (без обліку гідравлічних опорів) є основою визначення реальних величин напорів з урахуванням опорів у кожному елементі струминного апарата:

- необхідний напір первинного потоку:

$$H_1 = H_1' + \left( \zeta_1 + \zeta_{\text{поворот}} + \lambda \frac{1}{d} \right) \frac{V_1^2}{2g} \tag{5}$$

- реальний напір вторинного потоку:

$$H_2 = H_2' + \left( \zeta_2 + \zeta_{\text{поворот}} + \lambda \frac{1}{d} \right) \frac{V_2^2}{2g} \tag{6}$$

$$H_3 = H_3' - (\zeta_3 + \zeta_4) \frac{V_3^2}{2g}$$

- реальний напір змішаного потоку:

(7)

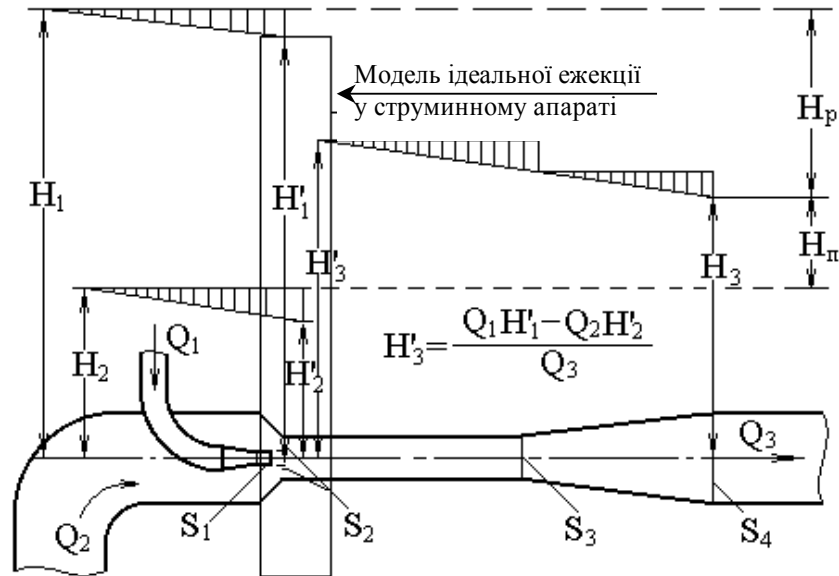
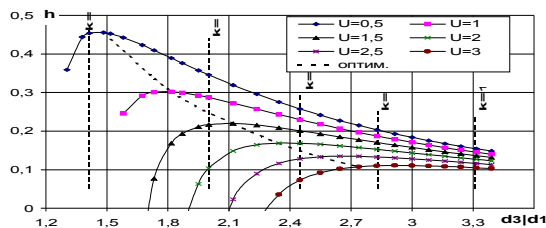


Рис. 5. Конструкція струминного апарата

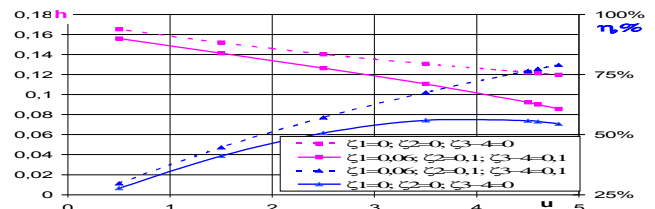
Запропонована методика дозволила розрахунковим шляхом побудувати номограми з використанням безрозмірних і відносних параметрів:  $u = Q_2/Q_1$  – коефіцієнт ежекції,  $h = H_k / (H_p + H_k)$  – відносний напір, де  $H_k = H_3 - H_2$  – корисний напір,  $H_p = H_1 - H_3$  – робочий напір. Зіставлення номограм, побудованих розрахунковим шляхом з використанням моделі ідеальної ежекції, з емпірично побудованими номограмами Ю.Л. Кирилловського і Л.Г. Подвідза  $h = f(u)$  при ( $k = \text{const}$ ), а також з побудованими номограмами Б.Ф. Лямаєва  $h = f(d_3/d_1)$  при ( $u = \text{const}$ ) показало досить повний збіг.

На рис. 6 представлені номограми для підбору струминних апаратів нетрадиційної конструкції із суміщенням камери змішання і дифузора.

На рис. 6а представлені номограми  $h = f(u; d_3/d_1)$  для підбору струминного апарата нетрадиційної конструкції ( $\zeta_1 = 0,06$ ;  $\zeta_2 = 0,1$ ;  $\zeta_{3,4} = 0,1$ ).



а)



б)

Рис. 6. Номограми характеристик струминних апаратів  $h = f(u; d_3/d_1)$ .

На рис. 6б показані характеристики  $h = f(u)$ ,  $\eta = f(u)$  реального струминного апарата з модулем  $k = 10$  ( $\zeta_1 = 0,06$ ;  $\zeta_2 = 0,1$ ;  $\zeta_{3,4} = 0,1$ ), а також гранично можливі теоретичні

характеристики цього апарата  $h' = f(u)$ ,  $\eta' = f(u)$ , коли величини гідравлічних опорів дорівнюють 0.

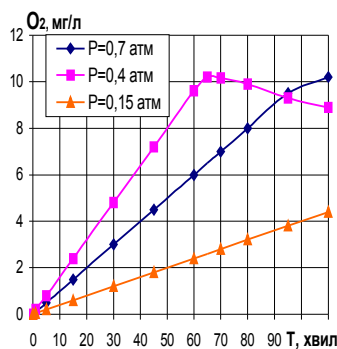
Запропоновано нову формулу розрахунку ефективності струминного апарата, де робочий і підсмоктаний потоки є корисною витратою.

$$\eta = \frac{H_{\Pi}(Q_1 + Q_2)}{H_p Q_1} \quad (8)$$

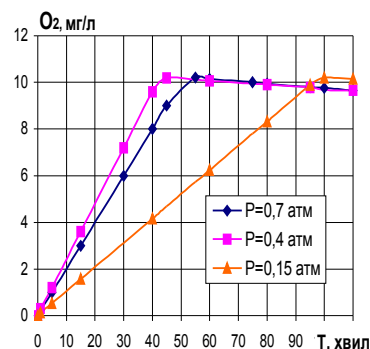
Аналіз характеристик ефективності  $\eta' = f(u)$  струминного апарата (рис. 6б) показує доцільність перегляду моделі безрозмірних відносних параметрів, тому що в граничному випадку, коли не враховуються втрати напору, ефективність повинна бути граничною і дорівнювати  $\eta' = 1$ .

У **п'ятому розділі** досліджено: вплив геометричних і кінематичних параметрів ерліфта на його транспортні і технологічні функції, ефективність роботи ерліфта, діапазон регулювання продуктивності, розчинність кисню в рідині, що перекачується.

Проведено експериментальні дослідження рівномірності розподілу повітря в проточних частинах ерліфта при використанні повітроподаючих форсунок різного типу (дірчаста, полімерна). Досліджено вплив типу форсунки і тиску повітря на розчинність кисню повітря в рідині, що перекачується. На рис. 7 представлена залежність концентрації розчиненого кисню повітря від часу аерації рідини і від тиску повітря для дірчастої (рис. 7а) і полімерної (рис. 7б) форсунок.



а)



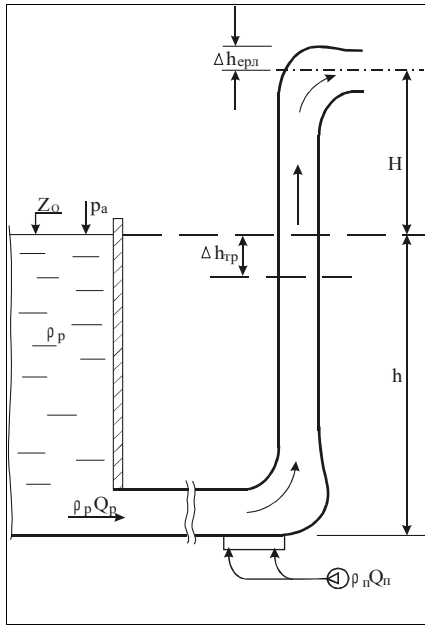
б)

Рис. 7. Залежність концентрації розчиненого кисню повітря від часу аерації при заданому тиску.

Результати досліджень показали перевагу форсунки, виготовленої з полімеру, що забезпечує дрібнобульбашкову подачу повітря в широкому діапазоні тисків і виявляється ефективним змішувачем.

Для визначення питомої витрати повітря, що забезпечує задані режими роботи ерліфта, розглянута схема ерліфта (рис. 8). У ерліфті рідина з щільністю  $\rho_p$  піднімається на висоту  $H$  за рахунок подачі повітря з щільністю  $\rho_{\Pi}$  через форсунку, розташовану на глибині  $h$ . Використовуючи модель ерліфта, у якому підйом здійснюється тільки за рахунок різниці щільностей рідини і повітряно-рідинної суміші без урахування втрат енергії, ідеальний питома витрата повітря можна визначити з формули:

$$q = \frac{\rho_p \cdot H}{\rho_p \cdot h - \rho_{\text{п}} \cdot \ln(H + h)} \quad (9)$$



При транспортуванні рідини виникають утрати напору в проточній частині ерліфта  $\Delta h_{\text{ерл}}$  і тракту, що підводить,  $\Delta h_{\text{тр}}$ , тоді формула 8 приймає вид:

$$Q_{\text{необх}} = \frac{\rho_p \cdot (H + \Delta h_{\text{тр}})}{\rho_p \cdot (h - \Delta h_{\text{тр}}) - \rho_{\text{п}} \cdot \ln(H + h + h_{\text{ерл}})} \quad (10)$$

Гідравлічна ефективність роботи ерліфта дорівнює відношенню ідеального питомої витрати до необхідної:

$$\eta_{\text{г}} = \frac{\rho_p \cdot H \cdot (\rho_p (h - h_{\text{тр}}) - \rho_{\text{п}} \cdot \ln(H + h + \Delta h_{\text{ерл}}))}{(\rho_p \cdot h - \rho_{\text{п}} \cdot \ln(H + h)) \cdot \rho_p \cdot (H + \Delta h_{\text{тр}})} = \frac{q}{Q_{\text{необх}}} \quad (11)$$

Гідравлічна ефективність ерліфта  $\eta_{\text{г}}$  може бути представлена величиною коефіцієнта швидкості  $\phi$ , що показує відношення реальної швидкості  $V_p$ , з обліком усіх гідравлічних опорів ( $\lambda$ ,  $\zeta$ ), до теоретично граничної швидкості  $V_{\text{т}} = \sqrt{2gH}$ , коли величини коефіцієнтів гідравлічних опорів дорівнюють нулю.

$$\eta_{\text{г}} = \phi = \frac{V_p}{\sqrt{2gH}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta_i}}, \quad (12)$$

Гідравлічна ефективність ерліфта на СБО “Південна” із традиційними поворотами (рис. 2а) розрахована за формулою 12 і дорівнює  $\eta_{\text{г}} = 0,44$ , а розроблена конструкція ерліфта (рис. 8) з поворотами оптимальної форми (рис.2б) забезпечує гідравлічну ефективність не нижче  $\eta_{\text{г}} = 0,75$ .

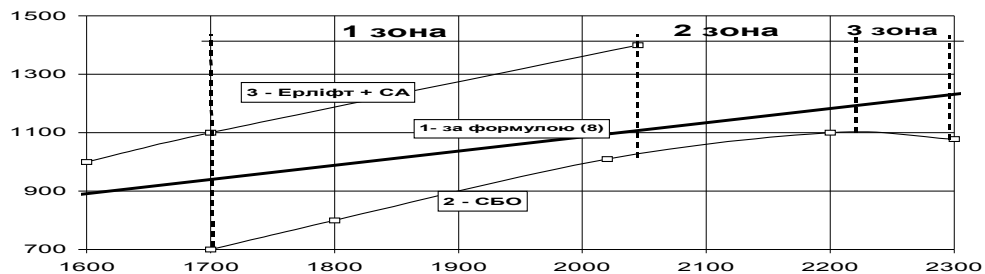
Реальні витрати повітря, виміряні приладом ( $q_p$  - реальна питома витрата), дозволяють розрахувати загальну ефективність ерліфта  $\eta_{\text{заг}}$  і ефективність, що характеризує якість повітродозподілення  $\eta_{\text{п}}$ :

$$q = \frac{\rho_p \cdot H}{\rho_p \cdot h - \rho_{\text{п}} \cdot \ln(H + h)} \quad (13)$$

Результати експерименту на станції біологічного очищення “Південна” показали (рис. 9, крива 2), що загальна ефективність роботи ерліфта представляє більш складну залежність  $\eta_{\text{заг}} = f(\eta_{\text{п}}; \eta_{\text{р}})$ . Економічна та усталена робота ерліфта можлива в обмеженому діапазоні розходу повітря  $Q_{\text{п}}$  у потоці рідини  $Q_{\text{р}}$ , коли повітря забезпечує тільки зниження щільності суміші (рис. 9, зона 1). В другій і третій зоні робота ерліфта неефективна через транзитний рух повітря, що різко погіршує транспортну і технологічну ефективність ерліфта. Графік 1 (рис. 9) представляє теоретичну залежність продуктивності ерліфта від необхідної кількості поданого повітря, розрахованого за формулою 9.

Для збільшення діапазону регулювання продуктивності ерліфта, що виходить за межі економічного режиму (зона 1, рис. 9), запропоновано в проточній частині ерліфта установити додатковий пристрій - струминний апарат. Струминний апарат дозволить збільшити кількість рідини, що перекачується, на 30-50%. Характер зміни продуктивності ерліфта, що працює спільно зі струминним апаратом, показаний на графіку 2 (рис. 9).

$Q_{\text{р}}, \text{ м}^3/\text{година}$



$Q_{\text{п}}, \text{ м}^3/\text{година}$

Рис. 9. Залежність продуктивності ерліфта від кількості поданого повітря

Результати дисертаційної роботи реалізовані на СБО “Південна” м.Одеса при модернізації ерліфта і системи повернення біологічно активного мулу. У таблиці представлені показники роботи СБО “Південна” до модернізації і після модернізації. Для порівняння витрат енергії при використанні традиційної схеми з використанням осьового насоса представлені показники роботи СБО “Північна”. У таблиці також представлені показники роботи СБО “Південна” після планованої повної реконструкції системи повернення біологічно активного мулу з використанням ерліфта і струминного апарата.

Таблиця

Порівняння показників роботи СБО “Південна” і СБО “Північна”

Найменування	СБО “Північна”	СБО “Південна”		
		до модернізації	після модернізації	повна реконструкція
1	2	3	4	5
Витрата води, Q				
літо, м³/сут	260000	135000	135000	135000
зима, м³/сут	260000	165000	165000	165000
Повітродувка:	Н-1200-25-3	ТВ – 300 - 1,6М – 02		

-ККД	0,61	0,69	0,69	0,8
-Потужність, кВт	1000	330	330	285
-Ел.споживання літо, кВт· доба	24000	25575	17855	12800
зима, кВт· доба	24000	17655	14614	12600
Осьові насоси:	ОВ6-55К-УЗ			
-ККД	0,82	-	-	-
-Потужність, кВт	125			
-Ел.споживання, кВт· доба	6000			
Відцентровий насос	ФГ 450/22,5			6К-12
-ККД	0,52	-	-	0,8
-Потужність, кВт	55			31
-Ел.споживання, кВт· доба	1320			430 (14годин)
Питоме ел.спож. літо, кВт на 1м <sup>3</sup>	120	189	132	98
зима, кВт на 1м <sup>3</sup>	120	107	89	76

Модернізація дозволила скоротити загальну витрату електроенергії СБО “Південна” на 10%, що складає більш 18 тис. грн. на місяць.

### ВИСНОВКИ

1. Дослідження, виконані в дисертаційній роботі, показали істотний резерв підвищення ефективності харчових і мікробіологічних процесів за рахунок комбінування транспортних і технологічних функцій. Так ерліфт дозволяє поєднувати підйом рідини та аерацію, а струминний апарат поєднує транспортування і сатурацію, змішання, дозування та ін. Комбінування технологічних і транспортних функцій в одному апараті дозволяє інтенсифікувати різні технологічні процеси.
2. Теоретично обґрунтована доцільність використання показників ефективності окремих елементів гідравлічної системи (поворот, вентиль та ін.), що дозволяють розраховувати загальну ефективність системи (формула 1).
3. Теоретично обґрунтована нова методика розрахунку ефективності гідроаеродинамічних систем на основі коефіцієнтів ефективності (ККД) нагнітача і коефіцієнтів ефективності окремих елементів системи. Метод розрахунку ефективності системи може служити стимулюючим фактором для аналізу шляхів підвищення енергетичної ефективності як окремих апаратів, так і технологічних процесів у цілому (формула 3).
4. Дослідження структури потоків у проточних частинах нагнітачів показали істотний резерв підвищення їхньої ефективності. Так оптимізація проточної частини ерліфта дозволила підвищити його ефективність до  $\eta = 75\%$ , а використання нетрадиційної оптимальної проточної частини струминного апарата дозволить підвищити його ККД до  $\eta = 47\%$ .
5. Експериментальні дослідження розподілу повітря в ерліфті за допомогою форсунок різного типу показали перспективність полімерного матеріалу для виготовлення повітророзподільного насадка повітряної форсунки. Полімерні насадки забезпечують оптимальний розподіл повітря в проточній частині ерліфта, а також інтенсифікують процес розчинення кисню у воді.
6. Використання моделі ідеальної ежекції без обліку втрат напорів дозволяє розрахунковим

шляхом одержувати номограми безрозмірних характеристик струминних апаратів традиційної і спеціальної конструкції, а також перераховувати параметри з урахуванням реальних величин коефіцієнтів гідравлічних опорів.

7. Спільне використання ерліфта і струминного апарата дозволяє розширити діапазон регулювання продуктивності установки, поліпшувати її енергетичні і технологічні характеристики.

#### **Основний зміст дисертації опублікований у роботах:**

1. Арсирий В.А., Олексова Е.А. Модернизация оборудования системы аспирации воздуха при выгрузке зерна // Наукові праці Одеської державної академії харчових технологій. - Одеса: ОДАХТ. - 2002. - Вип. 24. - С.322-325. Науковий вклад здобувача – запропоновано використовувати струминний апарат (ежектор) у системі аспірації повітря при вивантаженні зерна з вагонів.
2. Арсирий В.А., Олексова Е.А., Голубова Д.А. Расчет эффективности гидравлической системы // Холодильна техніка і технологія. – Одеса: ОДАХ. – 2002. – №4 (78). - С. 48-51. Науковий вклад здобувача – запропоновано використовувати як ефективність елементів коефіцієнт швидкості.
3. Арсірій В.А., Яковищенко (Олексова) К.О., Арсірій О.О. Метод візуалізації дискретних структур потоків - основа FST-технології // Ринок інсталяційний. - 1999. - №8. - С. 16-18. Науковий вклад здобувача - розробка кінематичної схеми структури потоку струміні, що витікає в затоплений простір.
4. Олексова Е.А. Влияние геометрических размеров каналов на величину коэффициента гидравлического трения // Коммунальное хозяйство городов. - Киев: Техніка. - 2000. - С. 157-160.
5. Арсирий В.А., Олексова Е.А. Модель расчета струйных аппаратов с использованием идеальной модели эжекции // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДГУБА, ХОТВ АБУ. - 2000. - С. 199-203. Науковий вклад здобувача - розробка методики побудови номограм характеристик струминного апарата на основі ідеальної моделі ежекції.
6. Олексова Е.А. Новый подход к проектированию системы возврата активного ила на станции биологической очистки с использованием эрлифта // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Астропринт. – 2002. – Вип.№6. – С. 191-195.
7. Арсирий В.А., Яковищенко (Олексова) Е.А. FST - технология модернизации проточных частей // Сборник материалов Междунар. научно-практической конф. “Актуальные проблемы водоснабжения и водоотведения”. - Одесса, 1999. - С. 188-191. Науковий вклад здобувача - візуальна діагностика структури потоку в проточних частинах простих нагнітачів і арматури систем водопостачання і водовідведення.
8. Олексова Е.А. Улучшение гидравлических и массообменных характеристик устройств с целевыми каналами за счет оптимизации их геометрии // III Международ. выст. - конф.: Актуальные проблемы водоснабжения и водоотведения. - Одесса, 2000. - С. 152-153.
9. Арсирий В.А., Багно Т.А., Яковищенко (Олексова) Е.А., Майсоценко В.С. Новый подход к решению гидравлических задач конструирования каналов для перемещения жидкостей и газов // Матеріали III Міжнар. науково-методичної конф. “Удосконалення підготовки спеціалістів”. - Одеса: Матеріали конференції. НМЛ. ОДАБА. - 1998. - С. 120-121. Науковий вклад здобувача - візуальна діагностика структури потоку в проточних частинах простих нагнітачів.
10. Арсирий В.А., Яковищенко (Олексова) Е.А. Структура турбулентной струи, истекающей в затопленное пространство // ОДАБА. Матеріали III Міжнарод. наук.-метод. конф.: Удосконалення підготовки спеціалістів. - Одеса, 1998. - С. 122-123. Науковий вклад здобувача - візуалізація структури потоку і виявлення кінематичної структури струміні, що

витікає в затоплений простір.

## АНОТАЦІЯ

Олексова К.О. Енергозберігаючі апарати і гідродинаміка в умовах комбінування технологічних процесів харчових виробництв. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 - процеси та обладнання харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв. - Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, 2003 р.

У роботі сформульована і запропонована наукова методика проектування і розрахунку нагнітачів - ерліфта, струминного апарата, а також можливості комбінування транспортних і технологічних функцій (гомогенізації, аерації, сатурації та ін.) у проточних частинах цих нагнітачів. На основі методу візуалізації структури потоку розроблені проточні частини цих нагнітачів із мінімальними величинами коефіцієнтів гідравлічних опорів, що забезпечують високу ефективність переміщення потоків і високу якість технологічних процесів у нагнітачах. Розроблено методику визначення ефективності технологічних процесів та гідравлічних систем у цілому на основі ефективності (ККД) насоса і коефіцієнтів, що характеризують ефективність окремих елементів процесу.

**Ключові слова:** ерліфт, струминний апарат, візуалізація структури потоків, гідравлічна ефективність системи, комбінування транспортних та технологічних функцій.

## АННОТАЦИЯ

Олексова Е.А. Энергосберегающие аппараты и гидродинамика в условиях комбинирования технологических процессов пищевых производств. - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 - процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. - Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, 2003 г.

В диссертационной работе исследованы проблемы конструирования и эксплуатации нагнетателей – эрлифт, струйный аппарат. Несмотря на простоту изготовления и эксплуатации эти аппараты редко используются из-за низкой эффективности. В работе сформулирована и предложена научная методика проектирования и расчета нагнетателей - эрлифт, струйный аппарат, а также возможности комбинирования транспортных и технологических функций (гомогенизации, аэрации, сатурации и др.) в проточных частях.

Разработана новая методика расчета гидравлической эффективности системы в целом  $\eta_{\text{сист}}$  на основе эффективностей (КПД) насоса и отдельных элементов (поворотов, вентилях, трубопроводов и др.). В качестве гидравлической эффективности элементов  $\eta_1$  предложена и обоснована формула расчета коэффициента скорости  $\phi$  по величинам коэффициентов гидравлических сопротивлений  $\zeta$  и  $\lambda$ . При расчете гидравлической эффективности системы предложено полезными параметрами считать расход перекачиваемой среды  $Q$  и геометрическую высоту ее подъема  $h_p$ .

Для повышения эффективности эрлифта и струйного аппарата проведены исследования методом физического моделирования с использованием визуализации структуры потоков в их проточных частях. Описан метод визуализации потоков с помощью оптически активной жидкости и методика оптимизации геометрии проточных частей с целью существенного снижения коэффициента гидравлического сопротивления и соответственно потерь напора. Используя метод визуализации, исследована структура потоков в зоне смешения струйного аппарата.

Визуальные исследования показали целесообразность совмещения традиционных элементов струйного аппарата - камеры смешения и диффузора, а учет выявленной организации структуры потоков в продольном и поперечном сечениях позволил повысить эффективность струйного аппарата с  $\eta = 25-35\%$  до  $\eta = 35-47\%$ . Используя метод визуализации, разработана новая геометрия проточной части эрлифта с оптимальной кинематической картиной распределения смеси жидкости и воздуха. Снижение величины коэффициента гидравлического сопротивления в повороте на  $90^\circ$  с  $\zeta = 1,2$  до  $\zeta = 0,08$  позволили повысить гидравлическую эффективность эрлифта с  $\eta_r = 44\%$  до  $\eta_r = 75\%$ .

Предложена новая методика расчета параметров струйного аппарата с использованием модели идеального эжектирования, которая основана на новой физической модели распределения энергии между потоками. На первом этапе рассчитываются идеальные параметры в характерном сечении аппарата без учета потерь напоров. Затем величины идеальных напоров пересчитываются с учетом гидравлических сопротивлений соответствующих участков струйного аппарата. Полученные параметры позволяют построить реальные характеристики, либо номограммы безразмерных параметров струйных аппаратов традиционной и нетрадиционной конструкции.

Для повышения общей эффективности эрлифта решена задача оптимального воздухораспределения; выведена формула для определения удельного расхода воздуха, обеспечивающего подъем жидкости на необходимую высоту. На экспериментальном стенде проведены исследования распределения воздуха в форсунках различного типа (дырчатая, полимерная), а также влияние типа форсунки на растворимость кислорода воздуха в перекачиваемой жидкости. Экспериментально определено влияние расхода воздуха не только на эффективность работы эрлифта, а также на растворимость кислорода воздуха в жидкости. Представлена зависимость количества растворенного в жидкости кислорода от времени аэрации в различных типах форсунок при заданных величинах давления.

Разработана конструкция совместной работы струйного аппарата и эрлифта, позволяющая увеличить диапазон регулирования производительности нагнетателя на 30-50%. Приведены параметры эффективности работы станции биологической очистки СБО "Северная" с использованием насоса для транспортирования ила, а также три варианта перекачки ила на СБО "Южная": традиционной конструкции эрлифта; после модернизации эрлифта в 2001 году; с использованием совмещенной конструкции эрлифта и струйного аппарата.

**Ключевые слова:** эрлифт, струйный аппарат, визуализация структуры потоков, гидравлическая эффективность системы, комбинирование транспортных и технологических функций.

## SUMMARY

Oleksova K.A. The energy saving devices and hydrodynamics when combining technological processes of food manufactures. - Manuscript.

Thesis for a candidate's degree in the technical sciences in speciality 05.18.12 - processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical manufactures. - Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, 2003.

In the work is formulated and the scientific hypothesis of designing and account pumps - air-lift, streaming apparatus, and also possibility of a combining of transport and technological functions (homogeneity, airing, saturation etc.) in flowing parts these pumps is offered. On the basis of a method of visualization of flow structure the flowing parts these pumps with the minimal value of coefficient hydraulic resistance ensuring high efficiency of moving of flows and maintenance of technological processes in pumps are developed. The technique of definition of efficiency of technological processes as a whole is developed on the basis of efficiency of the pump and coefficients describing efficiency of separate elements of process.

**Keywords: airlift, streaming apparatus, visualization of flows structure, hydraulic system effectiveness, combining of transport and technological functions**