

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**КАРПУШИН МИХАЙЛО ЮРІЙОВИЧ**

УДК 621.695

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ЕРЛІФТА В  
УМОВАХ ЗМІННИХ ПРИПЛИВІВ РІДИНИ (ГІДРОСУМІШІ)**

Спеціальність 05.05.17 – Гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

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

Суми - 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**КОНОНЕНКО Анатолій Петрович,**  
Державний вищий навчальний заклад  
«Донецький національний технічний університет»  
(м. Донецьк), завідувач кафедри «Енергомеханічні системи».

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**ЛУГОВСЬКИЙ Олександр Федорович,**  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут» (м. Київ),  
професор кафедри «Прикладна гідроаеромеханіка і механотроніка»;

кандидат технічних наук, професор  
**КОВАЛЬОВ Ігор Олександрович,**  
Сумський державний університет (м. Суми),  
завідувач кафедри «Прикладна гідроаеромеханіка».

Захист відбудеться “29” березня 2013 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К55.051.03 Сумського державного університету за адресою: 40007, Україна, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

З дисертацією можна ознайомитися в Центральній бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, Україна, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

Автореферат розісланий “ \_\_\_\_ ” лютого 2013 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
К55.051.03, к.т.н., доц.

Є.М. Савченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Затребуваність ерліфтних установок в системах водовідливу та гідропідйому енергетичних, гірничорудних та інших підприємств обумовлена рядом переваг в порівнянні з насосним обладнанням, основні з яких: відсутність рухомих та обертових елементів в проточній частині, висока консистенція гідросуміші, що транспортується при значній допустимій крупності часток, саморегулювання подачі при зміні в визначеному діапазоні припливу, простота в обслуговуванні та експлуатації.

Основним недоліком ерліфтних установок в порівнянні з насосним обладнанням є висока енерговитратність, що особливо відчутно при роботі в умовах змінних припливів рідини (гідросуміші). Це пов'язано з тим, що при збільшенні подачі ерліфта, що викликано надходженням більшого припливу рідини (гідросуміші), втрати напору (тиску) потоку в трубі подачі збільшуються, а тиск в змішувачі знижується. Так як рух водоповітряної суміші в підйомній трубі в експлуатаційних режимах роботи газорідинного підйомника є напірним, зниження тиску в змішувачі призводить, при інших рівних умовах, до зменшення значення подачі (у тому числі і максимально можливої) ерліфта. При широко розповсюдженому блочному повітропостачанні (один нагнітач – один ерліфт) газорідинних підйомників від відцентрових (радіальних – у відповідності з ДСТУ 3063-95) нагнітачів це призводить також до зміщення їх робочих режимів та робочих режимів ерліфтів від номінальних значень, а при використанні джерел пневмопостачання незмінної продуктивності (паро-, повітроструйні компресори, об'ємні компресори, пневмомережі) – до зміщення робочих режимів ерліфтів в область недопустимо низької енергетичної ефективності роботи.

Забезпечення близького до постійного тиску у змішувачі ерліфта при змінненні його подачі дозволить підвищити енергетичну ефективність робочого процесу та розширити діапазон подач установки. Тому розробка ерліфтних установок з можливістю забезпечення близького до постійного тиску у змішувачі в умовах змінних припливів рідини (гідросуміші) є актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження проводилися в рамках основного наукового напрямку кафедри «Енергомеханічні системи» ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» з розробки схем і засобів транспортування рідин (гідросумішей), науково-дослідної держбюджетної теми №Н25-10 «Обґрунтування параметрів схем і засобів гідравлічного руйнування твердих масивів та транспортування гідросумішей (рідин) з метою підвищення технічних показників» (2010 - 2015 рр.), та договору про співпрацю між ДВНЗ ДонНТУ і Старобешівською ТЕС ПАТ«Донбасенерго» (2009 - 2011 рр.).

**Мета і задачі досліджень.** *Мета дослідження* - підвищення енергетичної ефективності роботи і розширення діапазону подач ерліфтною установкою в умовах змінних припливів рідини (гідросуміші) за рахунок забезпечення тиску у змішувачі, близького до постійного в процесі роботи ерліфта.

*Задачі дослідження:*

а) визначити енергетично доцільні і технічно допустимі області експлуатації, а також можливі діапазони зміни подач ерліфтних установок традиційної конструкції

з блочним повітропостачанням серійно виробленими радіальними нагнітачами і джерелами пневмоенергії незмінної продуктивності в умовах змінних припливів рідин (гідросумішей);

б) розробити ерліфтну установку з можливістю експлуатації в широкому діапазоні подач без суттєвого збільшення втрат тиску (напору) в трубі подачі і зміни тиску в змішувачі за рахунок підведення додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби;

в) розробити математичну модель робочого процесу ерліфтною установки з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби;

г) провести експериментальні дослідження роботи ерліфта з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби з метою підтвердження адекватності розробленої математичної моделі;

д) розробити програму для чисельного аналізу на ПЕОМ математичної моделі робочого процесу ерліфта з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби;

е) обґрунтувати зони енергетично доцільного використання ерліфта з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби і визначити раціональні параметри і характеристики робочого процесу таких ерліфтів;

ж) навести рекомендації по розробці ерліфтних установок з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби.

*Об'єкт дослідження* - робочий процес ерліфтною установки з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби.

*Предмет дослідження* - параметри робочого процесу ерліфта - базові і додаткові подача рідини (гідросуміші) і витрата повітря, тиск і потужність водоповітряного потоку у підйомній трубі.

*Методи дослідження.* Основні використані методи досліджень: аналіз та наукове узагальнення даних літературних джерел, що дозволило обґрунтувати актуальність наукової задачі і сформулювати завдання досліджень; аналітичне дослідження спільної роботи ерліфтів з радіальними нагнітачами при блочному повітропостачанні, а також з джерелами пневмоенергії незмінної продуктивності дозволило визначити діапазон подач ерліфтною установки; методи аналізу та синтезу робочого процесу ерліфта в умовах змінних припливів рідини (гідросуміші) дозволили обґрунтувати фізичну модель робочого процесу ерліфта, найбільш ефективно працюючого в таких умовах; закономірності теорії двофазної течії і гідромеханіки покладені в основу математичної моделі робочого процесу ерліфта з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби; чисельний аналіз математичної моделі дозволив обґрунтувати зони енергетично доцільного використання та визначити раціональні параметри і характеристики ерліфта з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби; експериментальний метод дослідження ерліфта з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) дозволив підтвердити адекватність математичної моделі його робочого процесу.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

1. Вперше встановлені можливі діапазони зміни подачі ерліфта при блочному повітропостачанні радіальними нагнітачами, джерелами пневмоенергії незмінної продуктивності та при роботі підйомника в оптимальних енергетичних режимах.

2. Розроблено математичну модель робочого процесу ерліфта, що відрізняється урахуванням підведення додаткових припливу рідини (гідросуміші) і витрати повітря в проміжній перетин підйомної труби.

3. Вперше обґрунтовані допустимий діапазон і енергетично оптимальне значення вертикальної координати перетину підйомної труби для підведення додаткового припливу рідини (гідросуміші).

4. Отримало подальший розвиток фізичне обґрунтування процесу транспортування рідини (гідросуміші) ерліфтами в умовах змінних припливів.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у можливості визначення енергетично доцільних і технічно допустимих зон застосування ерліфтних установок традиційної конструкції з блочним повітропостачанням радіальними нагнітачами і з джерелами пневмоенергії незмінної продуктивності, а також у можливості використання отриманих у роботі результатів і наведених рекомендацій при розробці ерліфтів з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжній перетин підйомної труби.

Розроблена та передана Старобешівській ТЕС ПАТ «Донбасенерго» робоча документація ерліфтної установки з підведенням додаткового припливу рідини в проміжній перетин підйомної труби для видалення дренажних стоків котлотурбінного цеху-2. Виготовлені основні вузли й елементи установки. Очікуваний річний економічний ефект становить 67,168 тис. гривень.

Результати досліджень використані в ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» в навчальному процесі в курсах «Спеціальні засоби та схеми транспортування рідин», «Гідромеханізація, гідро- і пневмотранспорт», при курсовому і дипломному проектуванні.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення, які були отримані в процесі виконання дисертаційної роботи, наведені в дисертації та опубліковані в статтях у співавторстві, належать здобувачеві: [1] - розроблено математичну модель робочого процесу ерліфта з підведенням додаткових припливу рідини (гідросуміші) і витрати повітря в проміжній перетин підйомної труби; [2] - отримані розрахункові характеристики ерліфта з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжній перетин підйомної труби; [3] - встановлений вплив на гідродинамічні характеристики підйомника параметрів підйомної труби та труби подачі; [4] - виконано експериментальне обґрунтування енергетичних доцільності та кількісної значимості підведення додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжній перетин підйомної труби газорідного підйомника; [5] - обґрунтовані діапазони подач і доцільні висоти підйому ерліфтів з блочним повітропостачанням від серійно вироблюваних радіальних нагнітачів без урахування втрат напору в трубі подачі; [6] - уточнені діапазони подач ерліфтів з блочним повітропостачанням від серійно вироблюваних радіальних нагнітачів.

**Апробація роботи.** Основні положення дисертаційної роботи доповідались і отримали схвалення на: VII Міжнародній науково-технічній студентській

конференції «Механіка рідини і газу», м. Донецьк, 2008 р.; Міжнародній науково-технічній конференції АС ПГП "Промислова гідравліка і пневматика» - X, м. Львів, 2009 р.; XII, м. Донецьк, 2011 р. (лауреат конкурсу доповідей); XIII, м. Чернігів, 2012 р; XVII Міжнародній науково-технічній конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці», м. Черкаси, 2012 р; XVIII Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, технологія, освіта, здоров'я» (MICROCAD-2010), м. Харків, 2010 р.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 6 статей в фахових виданнях, що входять до затвердженого переліку, 1 стаття з матеріалів доповіді на конференції, 4 тези доповідей.

**Обсяг і структура роботи.** Дисертаційна робота складається з вступу, 5 розділів, висновку і додатків. Загальний обсяг роботи становить 255 сторінки, в тому числі 120 сторінок основного машинописного тексту, 58 рисунків, 20 таблиць, 4 додатки на 85 сторінках і список літератури з 136 найменувань на 16 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтована актуальність теми, сформульована науково-технічна задача, відображений зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено мету і завдання досліджень, показана наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, подано відомості про апробацію, публікації та структуру дисертації.

**Перший розділ «Стан питання, мета і задачі досліджень».** Змінення припливів рідини (гідросуміші) в промислових системах водовідливу і гідропідйому найчастіше дискретне. Так, наприклад, збільшення припливів щодо номінальних значень досягає: для умов шахтного водовідливу - 1,2 разів (при аварійному затопленні - до 9,7 разів), в умовах шахтного гідропідйому - 1,36 разів; в системах гідрозолошлаковидалення ТЕС - 2,0 разів.

При використанні в нестационарних умовах, що розглядаються, в якості засобів транспортування рідин (гідросумішей) насосів (грунтових насосів), узгодження їх подачі з притоками може забезпечуватися регулюванням установок за рахунок зміни напірної характеристики трубопроводу його дроселюванням або байпасуванням, або за рахунок зміни частоти обертання ротора насоса чи кількості працюючих насосів. Та якщо регулювання насосів водовідливних установок досить широко використовується в промисловості, то ні перераховані, ні інші способи регулювання грунтових насосів в умовах гідропідйомних установок практично не застосовуються через відомі складнощі у реалізації.

В умовах змінних припливів рідини (гідросуміші) суттєво спрощується робота водовідливного (гідропідйомного) засобу при використанні в його якості ерліфта.

Значний внесок у розвиток теорії робочого процесу ерліфта внесли вітчизняні вчені Гейер В.Г., Логвінов М.Г., Груба В.І., Костанда В.С., Кириченко Є.О., Кононенко А.П., Козиряцький Л. М., Малєєв В.Б., Малигін С.С., Стегнієнко А.П., Скоринін М.Й., Ігнатов О.В., Шевченко В.Ф., Стіфєєв Ф.Ф., Адамов Б.І., Данилов Є.І., Усков Є.В., Пашенко В.С., Мізерний В.І. та інші. Серед зарубіжних вчених слід відзначити М. Weber, М.Е. Dedegil, G. Clauss (Німеччина), N.N. Clark, R.J. Dabolt, I.

Stankovich (США), K. Sekoguchi, K. Matsumura, T. Nunako (Японія), B.P.A. Grandjean, F. Ajersch, P.J. Carrean (Канада), N. Apazidis (Швеція), F. Berleur, M. Giot (Бельгія), U. Sreedharan, S.B. Koganti, G.R. Balasubramanian (Індія).

Перевагою ерліфтів при роботі в нестационарних умовах є можливість узгодження подачі з припливом рідини (гідросуміші) декількома досить простими способами. Так, при самонастроюванні подачі збільшення або зменшення припливу призводить до відповідної зміни геометричного занурення змішувача при постійній витраті стисненого повітря. При всій простоті і зручності даний спосіб вимагає наявності зумпфів достатньої глибини і пневмонагнітача в складі установки, що ефективно працює у всьому діапазоні ступенів стиску газу і забезпечує близьку до постійної продуктивність в певному діапазоні тисків.

Узгодження подачі ерліфта з припливом зміною витрати стисненого повітря не вимагає резервування глибини зумпфа, але при цьому відношення максимальної подачі до оптимальної складає  $1,3 \div 1,4$ , що не завжди достатньо. При цьому також потрібна система автоматичного регулювання витрати повітря.

Діапазони подач групових і батарейних ерліфтних установок практично необмежені через можливе багаторазове збільшення числа працюючих ерліфтів з потрібною подачею але при цьому ускладнюється і дорожчає конструкція та підвищується ймовірність замулювання резервних ерліфтів.

Суттєвий вплив на діапазон подач ерліфтних установок також має зміна продуктивності джерела пневмоенергії при зміні потрібного тиску, що визначається принципом його дії та схемою пневмопостачання. Досвід використання ерліфтів, особливо в системах гідрозолошлаковидалення ТЕС, визначив, як найбільш стійку і технічно прийнятну, поряд з колекторної, блочну схему пневмопостачання газорідинних підйомників від радіальних нагнітачів. Знаходять застосування в блочних схемах пневмопостачання також джерела пневмоенергії незмінної продуктивності.

Крім того, в ерліфтах з трубами подачі збільшення подач супроводжується зменшенням можливої енергоефективності підйомника із-за росту втрат напору потоку рідини (гідросуміші) в цих трубах та зниження тиску у змішувачі.

Експериментальними дослідженнями ерліфта системи гідрозолошлаковидалення Екібастузської ГРЕС-1 встановлено, що забезпечення незмінності тиску (надлишкового) в змішувачі на рівні 75 кПа при витраті стисненого повітря 300 м<sup>3</sup>/хв дозволяє збільшити подачу в 1,5 рази в порівнянні з роботою ерліфта, що супроводжується зниженням тиску в змішувачі.

Наведені особливості роботи ерліфта в умовах змінних припливів рідини (гідросуміші) - вплив на енергоефективність роботи і діапазон зміни подачі газорідинного підйомника типу джерела пневмоенергії, схеми пневмопостачання і втрат напору (тиску) в трубі подачі не знайшли потрібної глибини досліджень у відомих роботах і потребують суттєвого уточнення, що і обґрунтовує актуальність дисертаційної роботи.

**Другий розділ «Робочі режими загальнопромислових ерліфтів з блочним пневмопостачанням в умовах змінних припливів рідин (гідросумішей)».** При блочному повітропостачанні ерліфтних установок найбільш доцільними для використання є радіальні нагнітачі виробництва ВАТ «Далекосхідний завод

енергетичного обладнання» (м. Хабаровськ, РФ, [www.dalenergomash.ru](http://www.dalenergomash.ru)), Lutos (Чехія, [www.lutos.su](http://www.lutos.su)) і Robuschi (Італія, [www.robuschi.com](http://www.robuschi.com)), які умовно можуть бути розділені на три класифікаційні групи: з абсолютним тиском стисненого повітря  $p_n = 1,32 \div 1,65$  кгс/см<sup>2</sup>  $[(1,29 \div 1,62) \cdot 10^5$  Па], продуктивністю  $Q_n = 40 \div 260$  м<sup>3</sup>/хв (0,667 ÷ 4,33 м<sup>3</sup>/с); з  $p_n = 1,57 \div 2,48$  кгс/см<sup>2</sup>  $[(1,54 \div 2,43) \cdot 10^5$  Па],  $Q_n = 115 \div 890$  м<sup>3</sup>/хв (1,92 ÷ 14,8 м<sup>3</sup>/с); з  $p_n = 2,73 \div 3,50$  кгс/см<sup>2</sup>  $[(2,68 \div 3,43) \cdot 10^5$  Па],  $Q_n = 75 \div 226$  м<sup>3</sup>/хв (1,25 ÷ 3,77 м<sup>3</sup>/с). Для аналізу особливостей роботи газорідних підйомників з блочною схемою повітропостачання в якості джерел пневмоенергії прийняті п'ять нагнітачів (табл. 1), що представляють всі три наведені вище класифікаційні групи радіальних нагнітачів.

Таблиця 1 - Параметри робочого процесу ерліфтних установок при блочному повітропостачанні радіальними нагнітачами без використання засобів регулювання

Параметр ерліфтної установки	Одиниця вимірювання	Тип нагнітача				
		ЦНВ 60/1,6	360-22-1	ЦНВ 100/3,2	ЦНВ 160/3,2	ЦНВ 200/3
Тиск нагнітача (абсолютний): - максимально можливий $p_{n.макс} \cdot 10^{-5}$ ; - мінімально допустимий $p_{n.мин} \cdot 10^{-5}$ .	Па	1,60 1,51	2,43 2,01	3,34 2,50	3,43 2,66	3,06 2,70
Продуктивність нагнітача $Q_n$ при: - максимально можливому тиску $p_{n.макс}$ ; - мінімально допустимому тиску $p_{n.мин}$ .	м <sup>3</sup> /хв (м <sup>3</sup> /с)	56,5 (0,942) 74,0 (1,233)	260 (4,33) 360 (6,0)	82 (1,37) 115 (1,92)	122 (2,03) 168 (2,80)	168 (2,80) 228 (3,80)
Потужність нагнітача $N_{потр}$ при: - максимально можливому тиску $p_{n.макс}$ ; - мінімально допустимому тиску $p_{n.мин}$ .	кВт	66,5 79,5	585 735	268 344	390 490	505 572
Геометричне занурення змішувача ерліфта: - максимально можливе $h_{макс}$ ; - мінімально допустиме $h_{мин}$ .	м	6,30 5,35	14,8 10,5	24,0 15,5	25,0 17,1	21,2 17,5
Довжина підйомної труби ерліфта $H+h$ при $\alpha = 0,4$	м	13,38	26,25	38,75	42,75	43,75
Висота підйому ерліфтної установки $H'$ відносно відмітки 0.000	м	6,48	10,45	13,75	16,75	21,55

Гідродинамічні параметри робочого процесу ерліфта і нагнітачів в наведених умовах (табл. 1) визначені на основі чисельного аналізу відомої математичної моделі процесу висхідного стаціонарного руху снарядної водовітряної суміші у вертикальній підйомній трубі.

Проведений чисельний аналіз дозволив встановити діаметри підйомних труб ерліфтних установок, при яких забезпечується максимальна подача, в умовах пневмопостачання розглянутими п'ятьма нагнітачами, а також діаметри труб подачі, що забезпечують мінімально потрібні транспортні швидкості для водовідливних ( $w_{п.т} \geq 2,5 \div 3,0$  м/с) і гідропідйомних ( $w_{п.т} \geq 3,5 \div 4,0$  м/с) установок (табл. 2).



Робоча зона радіальних нагнітачів, рекомендована виробником, обмежує діапазон подач ерліфтів, який характеризується ступенем збільшення подачі  $k_Q$  - відношенням максимальної подачі (реалізованої при максимальному геометричному зануренні змішувача, обумовленим максимально можливим тиском нагнітача) до мінімальної (при мінімальному геометричному зануренні змішувача, визначеним мінімально допустимим тиском нагнітача) (приклад - рис. 1).

Таблиця 2 - Діаметри підйомних труб і труб подачі водовідливних і гідропідйомних установок при пневмопостачанні радіальними нагнітачами

Параметр ерліфтної установки	Одиниця вимірювання	Тип нагнітача				
		ЦНВ 60/1,6	360-22-1	ЦНВ 100/3,2	ЦНВ 160/3,2	ЦНВ 200/3
Діаметр труб:						
- підйомної, $D$	мм	500	900	500	600	700
- подачі (водовідливної установки), $d$	-//-	350	800	400	500	600
- подачі (гідропідйомної установки), $d$	-//-	300	650	350	400	500

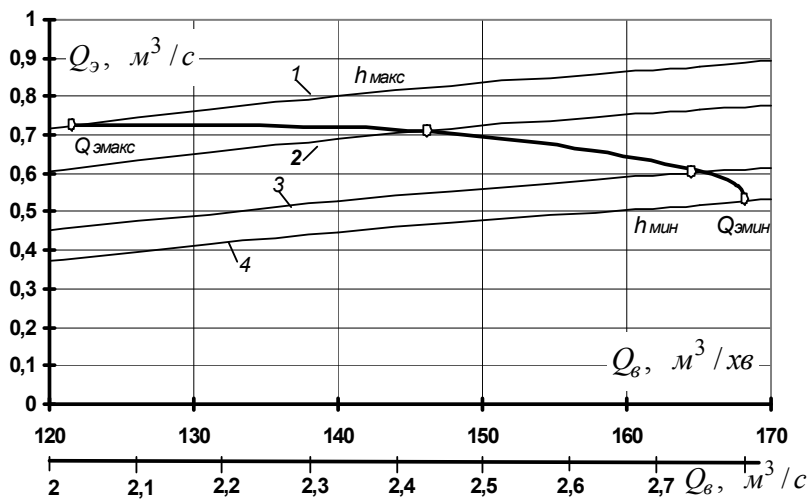


Рисунок 1 - Робочий режим водовідливної ерліфтної установки з блочним повітропостачанням від радіального нагнітача ЦНВ 160/3,2 ( $H+h = 42,75$  м,  $D = 600$  мм,  $d = 500$  мм): 1÷4 -  $Q_з = f(Q_в)$  при 1 -  $h = h_{\max} = 25$  м; 2 -  $h = 22,6$  м; 3 -  $h = 19$  м; 4 -  $h = h_{\min} = 17,1$  м

тиску (рис. 2).

При застосуванні труб подачі менших діаметрів, за постійності діаметра підйомної труби, відбувається підвищення відношення ступенів збільшення подачі ерліфта з постійним тиском в змішувачі  $p_{\text{см}} = \text{const}$  і ерліфта, що працює при постійному зануренні змішувача  $h = \text{const}$  (рис. 3).

Найчастіше тиск блочних джерел пневмоенергії незмінної продуктивності суттєво перевищує тиск в змішувачі ерліфта, що не обмежує геометричне занурення

Встановлено, що при пневмопостачанні ерліфтичних установок розглянутими нагнітачами ступінь збільшення подачі для водовідливних установок становить  $k_Q = 1,05 \div 1,54$ , для гідропідйомних -  $k_Q = 1,09 \div 1,47$ .

Підтримання постійності тиску в змішувачі при повітропостачанні газорідних підйомників розглянутими радіальними нагнітачами дозволяє збільшити максимальну подачу в 1,5 рази в порівнянні з ерліфтами, де в процесі роботи відбувається зниження цього

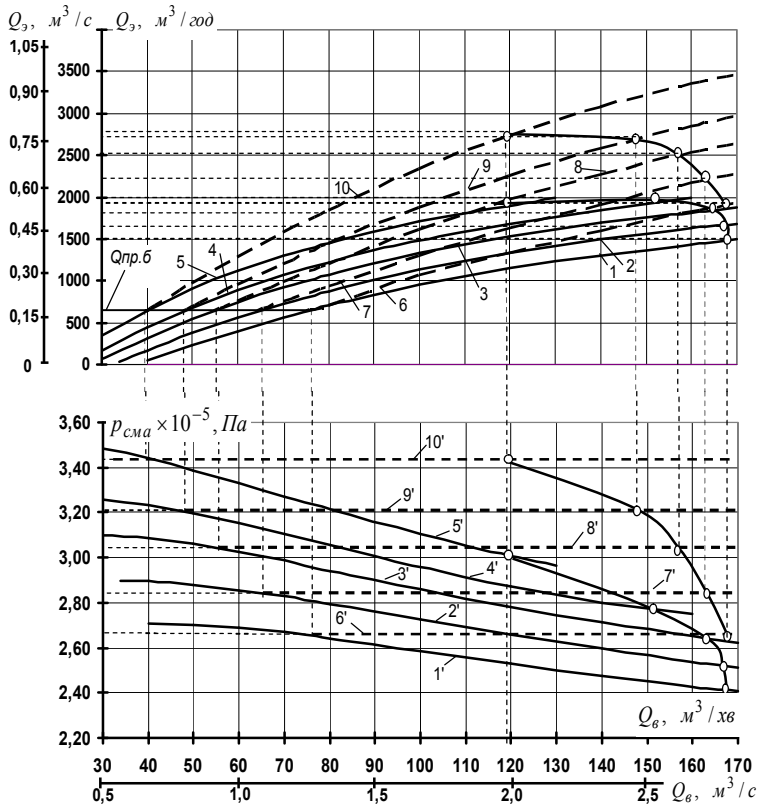


Рисунок 2 - Характеристики ерліфта ( $H+h = 42,75$  м,  $D = 600$  мм,  $d = 300$  мм) з блочним повітропостачанням від нагнітача ЦНВ 160/3,2: 1, 1' – залежності подачі і тиску в змішувачі ерліфта від витрати повітря за умови  $h = const$ , при  $h = 17,1$  м; 2, 2' -  $h = 19$  м; 3, 3' -  $h = 21$  м; 4, 4' -  $h = 22,6$  м; 5, 5' -  $h = 25$  м; 6, 6' - залежності подачі і тиску в змішувачі ерліфта від витрати повітря при постійності тиску в змішувачі  $p_{cma} = const$ , при  $h = 17,1$  м; 7, 7' -  $h = 19$  м; 8, 8' -  $h = 21$  м; 9, 9' -  $h = 22,6$  м; 10, 10' -  $h = 25$  м.

обмежується: у нижній частині - прямою (прямі 9 або 10)  $Q_{э.кр} = const$  (значення  $Q_{э.кр}$  визначається необхідною величиною транспортної швидкості в трубі подачі 9 -  $w_{n.m} = 3,0$  м/с, 10 -  $w_{n.m} = 4,0$  м/с) або графічною залежністю (крива 6)  $Q_{э.восх} = f(Q_{в.восх})$  при значенні  $\eta_{эр.доп.мин} = 0,478$  (що відповідає  $0,8 \cdot \eta_{макс}$ ) на висхідній гілці характеристики  $\eta_{эр} = f(Q_{в})$  - якщо ця залежність розташовується на графіку вище прямої  $Q_{э.кр} = const$ ; з лівого боку – витратною характеристикою ерліфта (крива 5)  $Q_{э} = f(Q_{в})$  при максимально доцільному (можливому) відносному зануренні  $\alpha_5 = 0,80$ ; із правої сторони – витратною характеристикою ерліфта (крива 1)  $Q_{э} = f(Q_{в})$  при мінімально допустимому (доцільному) відносному зануренні  $\alpha_1 = 0,40$ ; у верхній частині - графічною залежністю (крива 8)  $Q_{э.нисх} = f(Q_{в.нисх})$  при значенні  $\eta_{эр.доп.мин} = 0,478$  на низхідній гілці характеристики  $\eta_{эр} = f(Q_{в})$ .

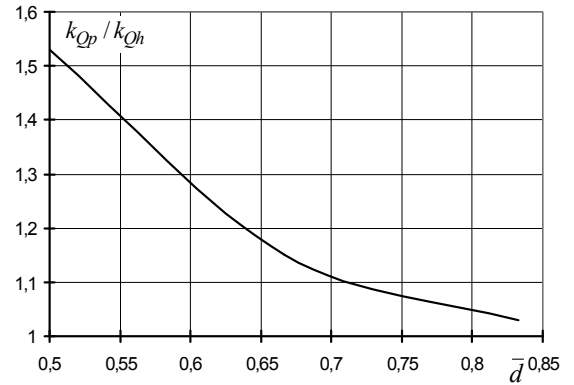


Рисунок 3 – Залежність відношення ступенів збільшення подачі ерліфта з постійним тиском в змішувачі  $p_{cma} = const$  та ерліфта, що працює при постійному зануренні змішувача  $h = const$  від безрозмірного діаметра труби подачі  $\bar{d}$  ( $\bar{d} = d/D$ , базове значення  $D = 600$  мм) при пневмопостачанні від нагнітача ЦНВ 160/3,2

змішувача. При цьому робота ерліфта при значеннях ККД, нижче  $0,8 \cdot \eta_{макс}$  вважається енергетично неефективною, а при подачах, що не забезпечують транспортні швидкості в трубі подачі - неприпустимою. Таким чином, режими енергетично допустимо-можливої експлуатації ерліфта визначаються зоною (рис. 4), що

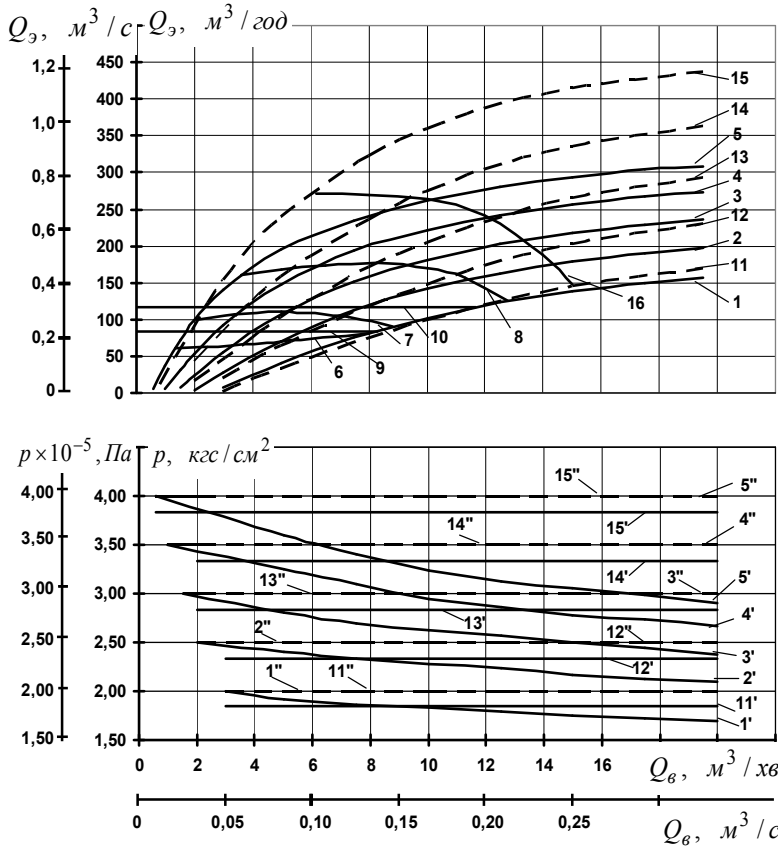


Рисунок 4 – Енергетично допустимо-можливі зони експлуатації ерліфта ( $H+h = 50$  м,  $D = 200$  мм,  $d = 100$  мм): 1÷5; 11-15 -  $Q_э = f(Q_в)$ ; 1' ÷5'; 11'-15' -  $p_{см} = f(Q_в)$ ; 1'' ÷5''; 11''-15'' -  $p_{н.с} = f(Q_в)$ ; 6 –  $Q_э_{восх} = f(Q_в_{восх})$  при значенні  $\eta_{эр доп мин} = 0,478$  висхідній гілці характеристики  $\eta_{эр} = f(Q_в)$  ерліфта з  $h = const$ ; 7 -  $Q_э_{онт} = f(Q_в_{онт})$  при значенні  $\eta_{эр} = \eta_{эр олт}$  ерліфта з  $h = const$ ; 8 –  $Q_э_{нисх} = f(Q_в_{нисх})$  при значенні  $\eta_{эр доп мин} = 0,478$  на низхідній гілці характеристики  $\eta_{эр} = f(Q_в)$  ерліфта з  $h = const$ ; 9 -  $Q_э = Q_э_{кр} = 84,8$  м<sup>3</sup>/год ( $w_{н.м} = 3,0$  м/с); 10 -  $Q_э = Q_э_{кр} = 113,0$  м<sup>3</sup>/год ( $w_{н.м} = 4,0$  м/с); 16 -  $Q_э_{нисх} = f(Q_в_{нисх})$  при значенні  $\eta_{эр доп мин} = 0,478$  на низхідній гілці характеристики  $\eta_{эр} = f(Q_в)$  ерліфта з  $p_{см} = const$  [ $\alpha_1 = 0,40$  м;  $\alpha_2 = 0,50$  м;  $\alpha_3 = 0,60$  м;  $\alpha_4 = 0,70$  м;  $\alpha_5 = 0,80$ ]

ефективності роботи ерліфтної установки в умовах змінних припливів рідин (гідросумішей) є забезпечення близького до постійного, рівного тиску при базовому притоці, тиску в змішувачі ерліфта.

Забезпечення близького до постійного тиску в змішувачі ерліфта в умовах змінних припливів рідин (гідросумішей) і блочному пневмопостачанні дозволить також експлуатувати радіальний нагнітач в значно більш вузькому діапазоні його тисків і продуктивностей з режимами роботи, близькими до енергетично оптимального. Виходячи з викладеного, ерліфтна установка, яка розробляється для

Забезпечення постійності тиску в змішувачі дозволяє досягти збільшення максимальної подачі до 2,2 разів.

При енергетично оптимальному способі зміни подачі, коли при заданому геометричному зануренні змішувача відповідною витратою повітря забезпечується значення подачі і режим роботи, який відповідає максимальному ККД установки, сталість тиску в змішувачі дозволяє збільшити максимальну подачу в 1,19 разів.

**Третій розділ «Фізична і математична моделі робочого процесу ерліфта з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підійомної труби».** Аналіз режимів роботи ерліфтної установки з блочним повітропостачанням від радіальних нагнітачів і джерел пневмоенергії незмінною продуктивності дозволив встановити, що діапазони зміни подач, а також абсолютні подачі газорідних підійомників в цих умовах досить обмежені, що часто не відповідає потребам загальнопромислових систем. Одним з можливих способів розширення діапазонів подач з підвищенням енергетичної

умов змінних припливів рідин (гідросумішей), повинна відповідати таким основним вимогам:

а) можливість експлуатації установки в значному діапазоні подач без суттєвої зміни втрат тиску в трубі подачі і тиску в змішувачі, близькому до незмінного;

б) можливість експлуатації повітряного нагнітача при блочній схемі повітропостачання газорідного підйомника при тиску і продуктивності, близьких до номінальних, в широкому діапазоні зміни подач ерліфта.

Сформульованим вимогам відповідає ерліфтна установка з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби.

Основною особливістю розробленої ерліфтної установки з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби є можливість транспортування основного (базового) припливу  $Q_{np1}$  через традиційну трубу подачі в нижній частині змішувача і додаткового, періодично виникаючого припливу  $Q_{np2}$  - через додатковий трубопровід в одне з проміжних перетинів підйомної труби.

Зазначена конструктивна особливість розробленої ерліфтної установки може бути реалізована наступним чином (рис. 5).

Рідина (гідросуміш), що підлягає транспортуванню ерліфтом  $Q_{np}$ , направляється в приймальну ємність 1, яка основним трубопроводом підведення 2 з'єднана з зумпфом 4. Причому гідравлічний опір (можливо його регулювання) основного трубопроводу підведення 2 має таке значення, при якому величина рівня рідини (гідросуміші) в приймальній ємності 1  $l \leq l_{макс}$  забезпечує витрату в даному трубопроводі 2, що не перевищує базове значення  $Q_{np1}$ . Базовий приплив  $Q_{np1}$  надходить в трубу подачі 5 і змішується в змішувачі 6 з повітрям, що подається в кількості  $Q_{в1}$  по основному повітропроводу 7. Забезпечується подача ерліфта. При цьому геометричне занурення змішувача 6 становить величину  $h$ , рідина (гідросуміш) по підйомній трубі 10 піднімається на висоту  $H$ . Аерогідросуміш у повітровідділювачі 11 розділяється на повітря, що скидається в атмосферу, і рідину (гідросуміш), що відводиться за призначенням.

Якщо приплив рідини (гідросуміші) в приймальну ємність 1 перевищує базове значення  $Q_{np} > Q_{np1}$ , рівень в ній підвищується  $l > l_{макс}$ . Відкривається запірний пристрій 12 і додатковий приплив  $Q_{np2}$  направляється в проміжний перетин підйомної труби 10 по додатковому трубопроводу підведення 3. Відкривається засувка 8 додаткового повітропроводу 9 і повітря в кількості  $Q_{в2}$  також направляється в проміжний перетин підйомної труби 10.

При зменшенні припливу рідини (гідросуміші) і, відповідно, подачі ерліфта до величини  $Q_з = Q_{np1}$ , закривається запірний пристрій 12 і засувка 8 додаткового повітропроводу 9. Причому, запірний пристрій 12, який виключає викид аерогідросуміші з підйомної труби 10 в режимі роботи ерліфта  $Q_з = Q_{np1}$ , перед закриттям промивається технічною водою. Це забезпечує надійність і необхідну тривалість його роботи при транспортуванні абразивних гідросумішей.

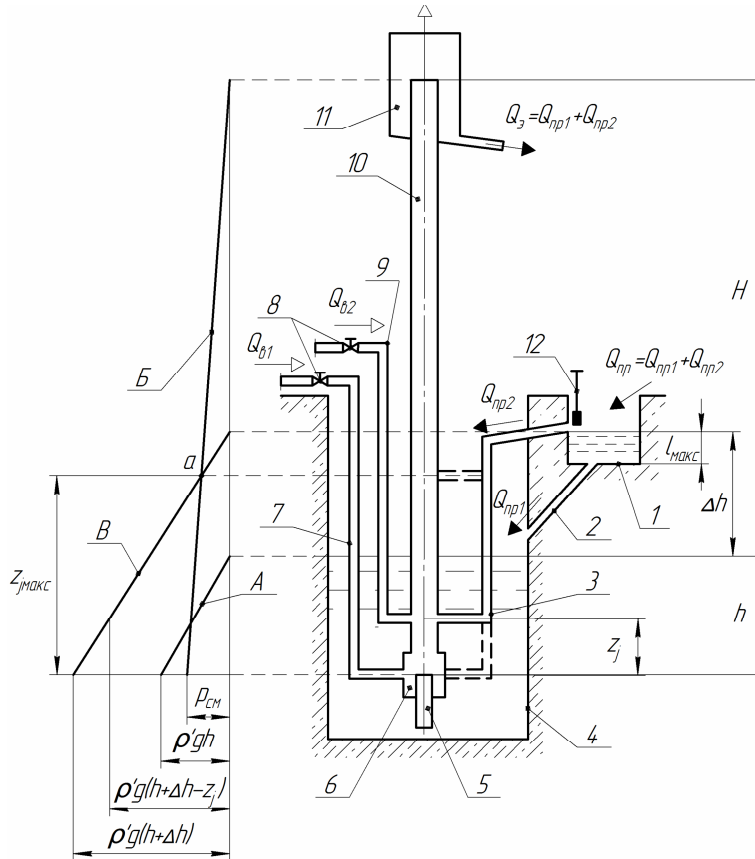


Рисунок 5 - Схема ерліфтної установки з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби: 1 - приймальна ємність; 2 - основний підвідний трубопровід; 3 - додатковий підвідний трубопровід; 4 - зумпф; 5 – труба подачі; 6 - змішувач; 7 - основний повітропровід; 8 - засувки; 9 - додатковий повітропровід; 10 - підйомна труба; 11 - повітровідділювач; 12 - запірний пристрій; А - еюра тиску рідини (гідросуміші) в зумпфі 4; Б - еюра тиску газорідинної суміші (аерогідросуміші) в підйомній трубі 10; В - еюра тиску рідини (гідросуміші) в додатковому підвідному трубопроводі 3

корового припливу  $Q_{np2}$ , не може перевищувати величину  $z_{j.макс}$ , що відповідає рівню точки а (точки перетину епюр Б і В) і визначається за залежністю

$$z_{j.макс} = \frac{(h_{n.m} + \Delta h) \cdot (H + h)}{H + h_{n.m}}, \quad (1)$$

де  $\Delta h$  - різниця рівнів рідин в приймальній ємності та зумпфі;  $h_{n.m}$  - втрати напору в трубі подачі.

Таким чином, запропонована ерліфтна установка відповідає вимогам, що пред'являються для роботи в умовах змінних припливів рідини (гідросуміші), і має суттєві переваги порівняно з традиційною.

Джерело пнемо-енергії в даній установці експлуатації при близькому до постійного номінальному тиску стисненого повітря незалежно від величини припливу рідини (гідросуміші), а його продуктивність в разі використання радіальної машини може регулюватися одним з найбільш економічних способів – дроселюванням всмоктувальної патрубку.

Втрати тиску  $\Delta p_{n.m}$  в трубі подачі 5 суттєво не змінюються із збільшенням подачі ерліфта  $Q_3$  і в межі визначаються величиною необхідної транспортної швидкості в ній для надійного транспортування рідини (гідросуміші) в кількості  $Q_{np1}$ .

Вертикальна координата  $z_j$  проміжного перетину підйомної труби 10, де можливе здійснення підведення додат-

При математичному моделюванні робочого процесу ерліфта з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби прийняті наступні допущення:

- а) структура водоповітряного потоку по всій висоті підйомної труби снарядна;
- б) течія квазіодномірна осесиметрична стаціонарна;
- в) швидкості компонентів водоповітряної суміші в будь-якій точці перетину піднімальної труби паралельні вертикальній осі, а поперечними складовими швидкостей і прискорень можна знехтувати, через малість в порівнянні з їх поздовжніми значеннями;
- г) в кожній точці будь-якого перетину підйомної труби тиск однаковий, в тому числі і в фазах, і змінюється по висоті за лінійним законом;
- д) зміна стану повітря в підйомній трубі відбувається по ізотермічному закону.

Математична модель робочого процесу ерліфта з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби розроблена на основі рівнянь кількості руху і нерозривності руху газорідинної суміші, та представляє собою двокомпонентну модель суцільного середовища для снарядного режиму течії. Отримано основне рівняння руху водоповітряної суміші в підйомній трубі ерліфта з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші)

$$-\frac{dp(z)}{dz} = \frac{4\tau_w(z)}{D} + \frac{d}{dz} \left\{ G'(z) \left[ \frac{x \cdot (1 - \varphi(z))}{\varphi(z) \cdot (1 - x)} \right] \cdot w_0''(z) + w_0'(z) \right\} + \rho_{см}(z) \cdot g, \quad (2)$$

де  $p$  - тиск газорідинної суміші у підйомній трубі;  $z$  - відстань від змішувача до перетину підйомної труби, що розглядається;  $\tau_w(z)$  - дотичне напруження на стінці підйомної труби;  $D$  - діаметр підйомної труби;  $G'(z)$  - масова швидкість рідини;  $x$  - масовий витратний газовміст водоповітряної суміші;  $\varphi(z)$  - істинний газовміст;  $w_0'(z)$  і  $w_0''(z)$  - приведені швидкості рідкої і газоподібної фаз відповідно;  $\rho_{см}(z)$  - щільність водоповітряної суміші;  $g$  - прискорення вільного падіння.

При цьому враховано приєднання додаткових витрати стисненого повітря і припливу рідини (гідросуміші) в перетині підведення у підйомну трубу.

Витрата рідини по висоті підйомної труби

$$Q_9(z) = \begin{cases} Q_{np1}, & \text{при } 0 \leq z \leq z_j; \\ Q_{np1} + Q_{np2}, & \text{при } z_j < z \leq H + h. \end{cases} \quad (3)$$

Витрата стисненого повітря при нормальних (технічних) умовах

$$Q_8^0(z) = \begin{cases} Q_{81}, & \text{при } 0 \leq z \leq z_j; \\ Q_{81} + Q_{82}, & \text{при } z_j < z \leq H + h. \end{cases} \quad (4)$$

Чисельний аналіз математичної моделі робочого процесу ерліфта з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби виконаний з використанням розробленої програми на ПЕОМ і дозволив визначити гідродинамічні параметри водоповітряного потоку в підйомній трубі пропонованого ерліфта. Так встановлено, що при досягненні безрозмірної

сумарної витрати стисненого повітря значення  $\bar{Q}_e = 2$  подача ерліфта із забезпеченням постійності тиску в змішувачі перевищує подачу традиційного в 1,33 рази (рис. 6).

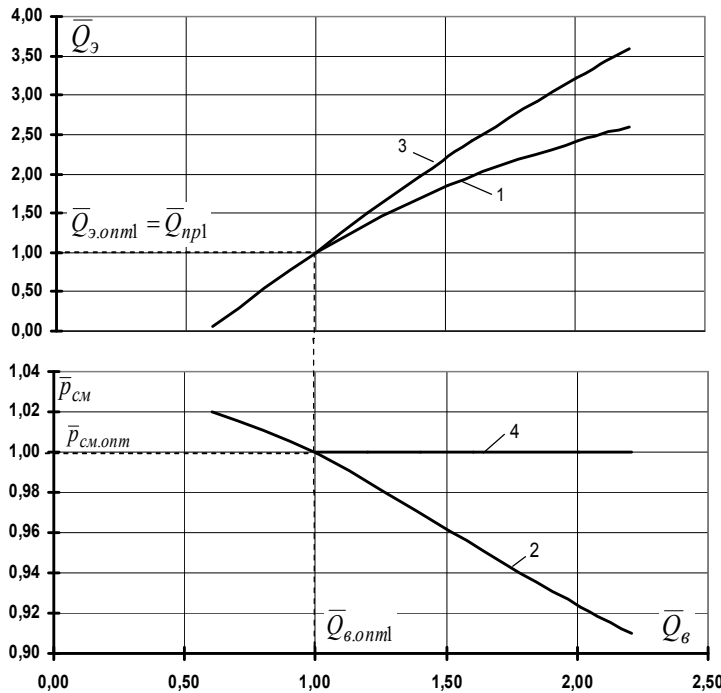


Рисунок 6 - Безрозмірні характеристики ерліфтів  $\bar{Q}_3 = f(\bar{Q}_e)$  і  $\bar{p}_{cm} = f(\bar{Q}_e)$ : 1, 2 – традиційної конструкції; 3, 4 – пропонуваної схеми (базисні значення  $Q_3 = 0,0222 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Q_e = 0,166 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $p_{cm} = 212 \text{ кПа}$ )

кового припливу  $z_j$  [ $\bar{z}_j = z_j / (H + h)$ ] (рис. 9).

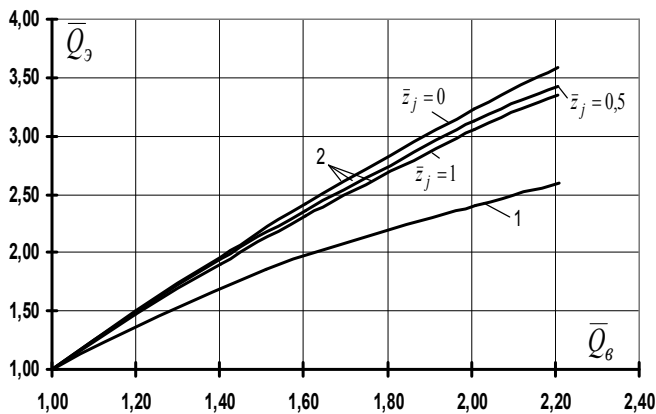


Рисунок 7 - Безрозмірні витратні характеристики ерліфта  $\bar{Q}_3 = f(\bar{Q}_e)$  традиційної 1 і пропонуваної 2 (для різних  $\bar{z}_j$ ) схем (базисні значення  $z_j = z_{j, \text{макс}} = 3,14 \text{ м}$ ;  $Q_3 = 0,0222 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Q_e = 0,166 \text{ м}^3/\text{с}$ )

Забезпечення транспортування додаткового припливу при підводі в більш високі перетини підйомної труби потребує більшої додаткової витрати стисненого повітря (рис. 7). При цьому потужність потоку додаткової витрати повітря знижується через зменшення тиску по висоті підйомної труби (рис. 8).

Забезпечення перевищення максимальної подачі пропонованого ерліфта над аналогічним показником ерліфта традиційної конструкції (відношення ступенів збільшення подачі  $k_{Qp} / k_{Qh} > 1$ ) досягається при більших значеннях відносного геометричного зачурення змішувача  $\alpha$ , менших безрозмірних діаметрах труб подачі  $\bar{d}$  ( $\bar{d} = d / D$ ) і менших координатах підведення додат-

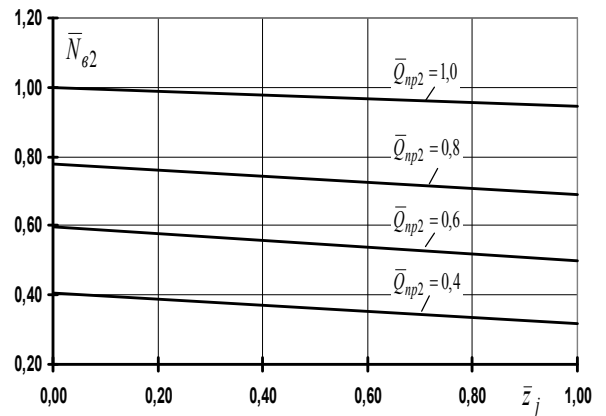


Рисунок 8 - Залежність безрозмірної потужності додаткової витрати повітря від безрозмірної координати підведення  $\bar{N}_{62} = f(\bar{z}_j)$  (базисні значення  $N_{62} = 7,92 \text{ кВт}$ ,  $z_j = 3,14 \text{ м}$  і  $Q_{np2} = 0,0222 \text{ м}^3/\text{с}$ )

Для досягнення найбільшої енергетичної ефективності робочого процесу пропонуваного ерліфта необхідно здійснювати послідовний підвід додаткового припливу, по мірі його збільшення, в мінімум два перетини підйомної труби - від найвищої доцільною координати підведення до нульової. Даний спосіб забезпечує збільшення ККД на 8÷10%, в порівнянні з ерліфтом традиційної конструкції (рис. 10).

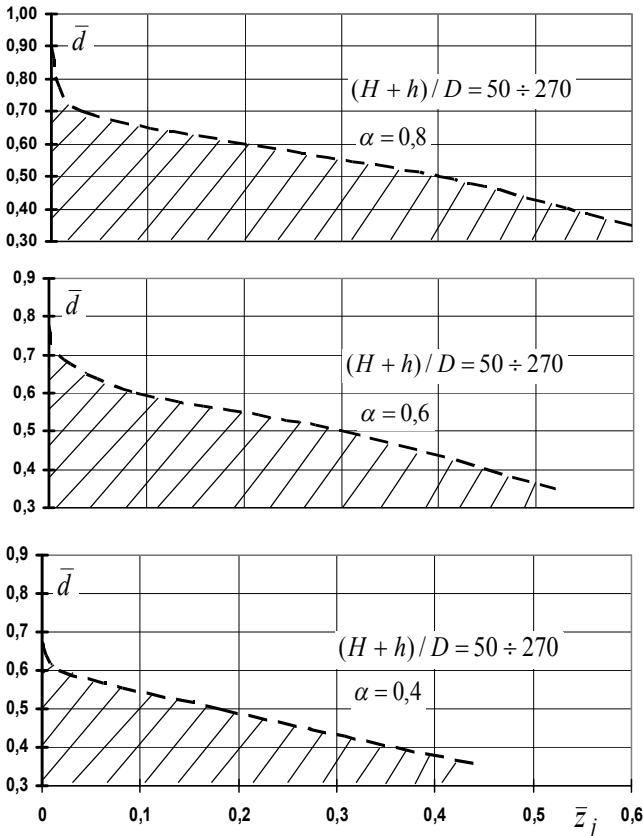


Рисунок 9 - Зони доцільного використання ерліфтів з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби при  $(H+h)/D = 50 \div 270$ ,  $\alpha = 0,4; 0,6; 0,8$

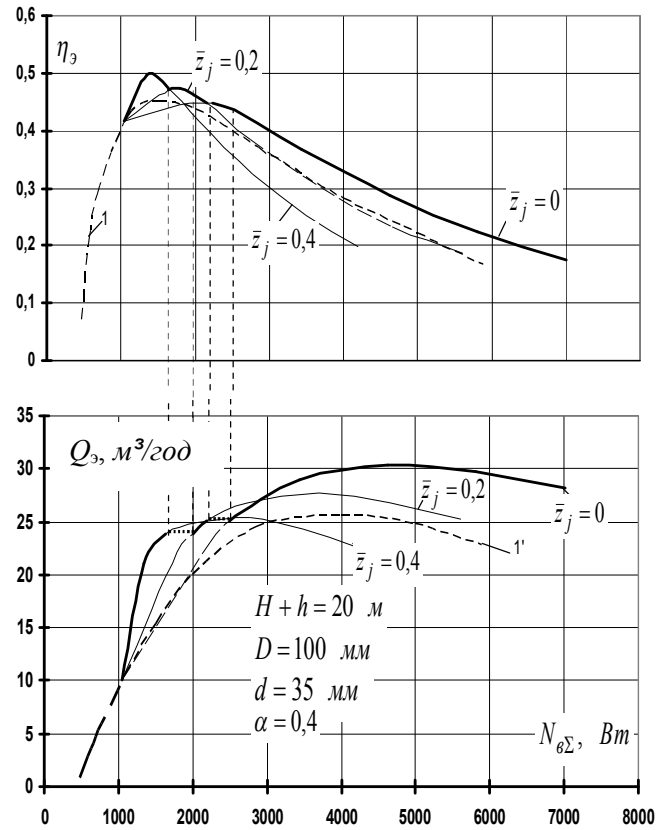


Рисунок 10 – Залежності  $\eta_3 = f(N_{6\Sigma})$  і  $Q_3 = f(N_{6\Sigma})$  ерліфтів  $[(H+h)/D=200$ ,  $\bar{d} = d/D = 0,35$ ,  $H+h=20$  м,  $\alpha = 0,4$ ] з послідовним підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в перетини підйомної труби  $\bar{z}_j = 0,4; 0,2; 0$  та традиційної конструкції – 1, 1'

Коефіцієнт корисної дії ерліфта з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби визначається залежністю

$$\eta_3 = \frac{(Q_{np1} + Q_{np2}) \cdot H}{\frac{p_0}{\rho'g} \left[ Q_{61} \cdot \ln\left(\frac{p_{cma}}{p_0}\right) + Q_{62} \cdot \ln\left(\frac{p_{zja}}{p_0}\right) \right]}, \quad (5)$$

де  $p_{zja}$  - абсолютний тиск в підйомній трубі ерліфта в перетині введення додаткової витрати повітря  $Q_{62}$ .





більшої максимальної подачі в порівнянні з ерліфтом традиційної конструкції ( $k_{Qp} / k_{Qh} > 1$ ) для даної установки.

В результаті експериментальних досліджень були отримані витратні характеристики  $Q_3 = f(Q_6)$  ерліфта без підведення додаткового припливу води (традиційна конструкція), при підведенні додаткового припливу води і витрати повітря в перетини 0, 0,5 і 1,25 м від змішувача (рис. 12).

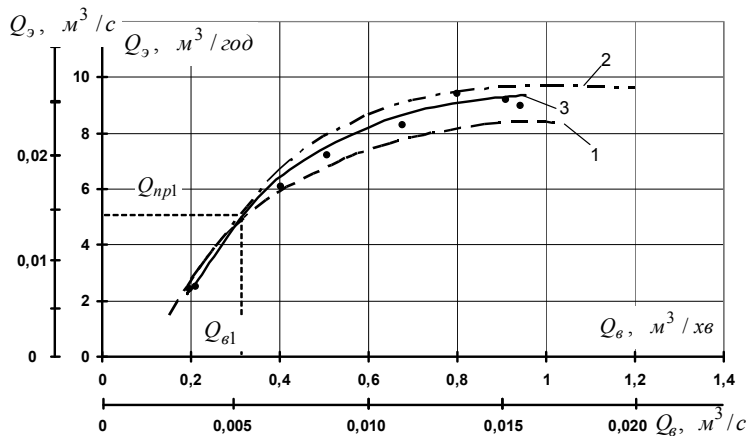


Рисунок 12 – Витратні характеристики ерліфта ( $H+h = 5$  м,  $h = 2$  м,  $l_{n.m} = 2$  м,  $D = 0,068$  м,  $d = 0,052$  м) при: 1 – розрахункова витратна характеристика ерліфта традиційної схеми; 2 – розрахункова характеристика при  $z_j = 1,25$  м ( $\bar{z}_j = 0,25$ ); 3 – експериментальна витратна характеристика ерліфта при  $z_j = 1,25$  м

отримані в результаті регресійної обробки експериментальних даних, в окремих розглянутих режимах роботи ерліфта не перевищили 12%, що свідчить про адекватність розробленої математичної моделі.

**П'ятий розділ «Рекомендації з розробки ерліфтних установок з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби».** Технологічні умови ерліфтних установок з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби визначають два види системи підведення додаткового припливу - з приймальною ємністю та з додатковою трубою подачі. Перший вид застосовується при можливості підведення додаткового припливу рідини (гідросуміші) вище рівня зумпфа, в якому встановлений газорідинний підйомник. Другий вид застосовується при відсутності такої можливості, якщо базовий і додатковий припливи розділити складно і останній відбирається з зумпфа через додаткову трубу подачі.

Вихідними даними при проектуванні ерліфтів з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби є: значення

Для кожної характеристики ерліфта були отримані 7-10 експериментальних точок при мінімум 5 вимірах контрольованих параметрів на одному їх рівні з метою отримання відносної похибки результатів 5÷10% при довірчій імовірності 0,90÷0,95.

Похибки вимірювань витрат стисненого повітря і води не перевищували 3%.

Експериментальні дані оброблені методом найменших квадратів, отримані рівняння регресії описують експериментальні точки із середньоквадратичною похибкою, що не перевищує 2%.

Середні відхилення значень в точках витратних характеристик визначених аналітично, від значень в точках характеристик, що

припливів - основного  $Q_{np1}$  і додаткового  $Q_{np2}$ ; максимально можливе геометричне

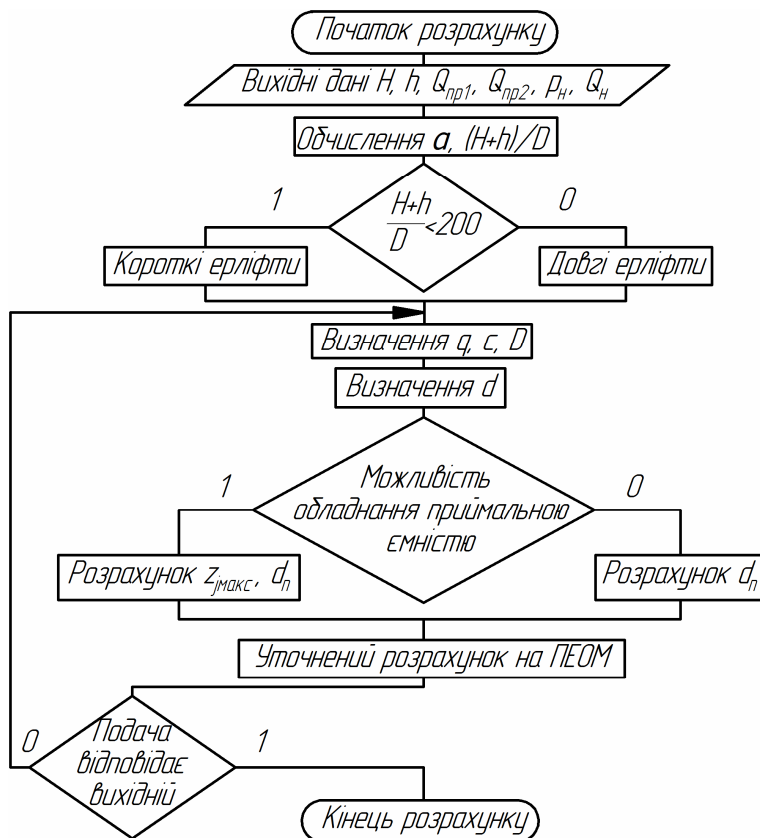


Рисунок 13 – Алгоритм інженерного розрахунку ерліфта з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби

занурення змішувача ерліфта  $h$ ; необхідна висота підйому рідини (гідросуміші) ерліфтом  $H$ ; параметри можливих джерел стисненого повітря:  $p_H, Q_H$ .

Розрахунок ерліфтів з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби проводиться в два етапи – попередній та уточнений (рис. 13).

Розроблена та передана робоча документація, виготовлені основні вузли й елементи ерліфтної установки для видалення дренажних стоків котло-турбінного цеху-2 Старобешевської ТЕС ПАТ «Донбасенерго». Висота підйому установки  $H = 3$  м, максимальне геометричне занурення змішувача ерліфта  $h = 2$  м, діапазони подачі  $Q_3 = 20 \div 100$  м<sup>3</sup>/год, необхідна витрата стисненого повітря 7 м<sup>3</sup>/хв.

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-технічна задача, яка полягає у підвищенні енергетичної ефективності роботи і розширенні діапазону подач ерліфтної установки в умовах змінних припливів рідини (гідросуміші) обґрунтуванням раціональних параметрів робочого процесу підйомника при підводі додаткового припливу в проміжний перетин підйомної труби, що дозволяє підвищити подачу, за інших рівних умов, до двох разів у порівнянні з ерліфтом традиційної конструкції при збільшенні ККД робочого процесу на 8÷10%.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у наступному.

1. Визначено енергетично доцільні і технічно допустимі області експлуатації [висоти підйому і діапазони подач рідини (гідросуміші)] ерліфтних установок традиційної конструкції, при яких досягається: при блочному повітропостачанні серійно виробленими радіальними нагнітачами [зокрема, нагнітачами ЦНВ 60/1,6; 360-22-1; ЦНВ 100/3, 2; ЦНВ 160/3, 2; ЦНВ 200/3, які представляють групи найбільш доцільних у складі ерліфтних установок] - ступінь збільшення подачі

ерліфтів: водовідливних -  $k_Q = 1,05 \div 1,54$ , гідропідйомних -  $k_Q = 1,09 \div 1,47$ , при цьому забезпечення постійності тиску в змішувачі дозволяє підвищити подачу до 1,53 разів; при пневмопостачанні джерелами незмінної продуктивності - ступінь збільшення подачі ерліфтів: водовідливних -  $k_Q = 1,10 \div 2,12$ , гідропідйомних -  $k_Q = 1,06 \div 1,59$ , при цьому забезпечення постійності тиску в змішувачі дозволяє підвищити подачу до 2,22 разів.

2. Розроблена ерліфтна установка з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби, яка дозволяє підтримувати близький до постійного тиск в змішувачі при збільшенні подачі газорідного підйомника до двократного значення. Встановлена максимально можлива вертикальна координата підведення додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби  $z_{j, \max}$ .

3. На основі рівнянь кількості руху і нерозривності руху, з урахуванням прийнятих допущень, розроблена математична модель робочого процесу ерліфта з підведенням додаткових припливу рідини (гідросуміші) і витрати повітря в проміжний перетин підйомної труби, що дозволяє визначити гідродинамічні параметри газорідного потоку в підйомній трубі ерліфта, що розглядається.

4. Доведена адекватність математичної моделі робочого процесу ерліфтною установки з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби результатами експериментальних досліджень дослідної установки, при забезпеченні рівності критеріїв подібності відносного геометричного занурення змішувача  $\alpha$ , параметра  $(H + h) / D$ , і забезпеченні автоточності зони числа Рейнольдса  $Re$  водоповітряного потоку в підйомній трубі - аналогічним критеріям натурних установок.

Середньоквадратична відносна похибка вимірювань витрат стисненого повітря і води не перевищили 3%.

Експериментальні дані оброблені методом найменших квадратів, отримані рівняння регресії описують експериментальні точки зі середньоквадратичної похибкою, що не перевищує 2%.

Середні відхилення значень в точках витратних характеристик визначених аналітично, від значень в точках характеристик, що отримані в результаті регресійної обробки експериментальних даних, в окремих розглянутих режимах роботи ерліфта не перевищили 12%, що свідчить про адекватність розробленої математичної моделі.

5. Розроблено програму на мові програмування Delphi для чисельного аналізу математичної моделі робочого процесу ерліфта з підведенням додаткових припливу рідини (гідросуміші) і витрати повітря в проміжний перетин підйомної труби, яка дозволяє визначити параметри газорідної суміші (подача підйомника, тиск, щільність суміші та ін.) по висоті підйомної труби при заданій витраті повітря.

6. Чисельний аналіз математичної моделі дозволив обґрунтувати зони енергетично доцільного використання ерліфта з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби виходячи з умови перевищення подачі пропонованого ерліфта над подачею традиційного при інших рівних умовах.

Встановлено, що для транспортування додаткового припливу рідини (гідросуміші), підведеного в проміжний перетин підйомної труби, необхідна додаткова витрата стисненого повітря збільшується зі збільшенням вертикальної координати його підвода, але потужність цього повітряного потоку знижується через зменшення тиску по висоті підйомної труби.

Обґрунтований найбільш енергоефективний спосіб роботи пропонованого ерліфта в умовах змінних припливів рідини (гідросуміші) шляхом послідовного, по мірі збільшення додаткового припливу, його підведення до мінімум двох перетинів підйомної труби - від найвищої доцільною координати підведення до нульової. Даний спосіб забезпечує збільшення ККД на 8÷10%, в порівнянні з ерліфтом традиційної конструкції.

7. Наведено рекомендації щодо розробки та методика інженерного розрахунку ерліфтів з підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) в проміжний перетин підйомної труби, яка включає в себе попередній розрахунок [геометричні параметри установки, вибір типу установки, розрахунок системи підведення додаткового припливу рідини (гідросуміші)] та розрахунок на ПЕОМ з метою уточнення параметрів установки.

8. Розроблена та передана робоча документація, виготовлені основні вузли й елементи ерліфтної установки для видалення дренажних стоків котлотурбінного цеху-2 Старобешівської ТЕС ПАТ «Донбасенерго». Очікуваний річний економічний ефект 67,168 тис. грн.

Результати досліджень використані в ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» в навчальному процесі в курсах «Спеціальні засоби та схеми транспортування рідин», «Гідромеханізація, гідро- і пневмотранспорт», при курсовому і дипломному проектуванні.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Карпушин М.Ю. Модель рабочего процесса эрлифта в условиях переменных притоков жидкости (гидросмеси). / А.П. Кононенко, М.Ю. Карпушин // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 16(142), серія гірничо-електромеханічна. Донецьк: ДонНТУ, 2008. - с. 149-158.
2. Карпушин М.Ю. Характеристики эрлифта с подводом дополнительного притока в промежуточное сечение подъемной трубы. / А.П. Кононенко, М.Ю. Карпушин // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технологія машинобудування. - Харків: НТУ "ХПІ". - 2010. - 54. - С. 62 - 70.
3. Карпушин М.Ю. Рабочий режим и особенности формирования подачи эрлифта в условиях переменных притоков гидросмесей (жидкостей). / А.П. Кононенко, М.Ю. Карпушин // Motrol: Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin. – 2010. – Vol. 12. – pp. 300-308.
4. Карпушин М.Ю. Экспериментальное обоснование энергетической целесообразности подвода дополнительного притока жидкости (гидросмеси) в промежуточное сечение подъемной трубы эрлифта. / А.П. Кононенко, М.Ю. Карпушин // Наукові праці ДонНТУ. Випуск 20 (176), серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2010. – С. 51-60.

5. Карпушин М.Ю. Теоретические диапазоны возможных подач эрлифтов с блочным воздухообеспечением центробежными нагнетателями. / А.П. Кононенко, В.В. Чернюк, М.Ю. Карпушин // Наукові праці ДонНТУ. Серія гірничо-електромеханічна. – Вип. 22 (195). - Донецьк: ДонНТУ, 2011.– С. 116-134.
6. Карпушин М.Ю. Подача эрлифтов с блочным воздухообеспечением центробежными нагнетателями. / А.П. Кононенко, В.В. Чернюк, М.Ю. Карпушин // Наукові праці ДонНТУ. Серія гірничо-електромеханічна. – Вип. 23 (126). - Донецьк: ДонНТУ, 2012.– С. 110-123.
7. Карпушин М.Ю. Эрлифтная установка для работы в условиях переменных притоков жидкости (гидросмеси). / А.П. Кононенко, М.Ю. Карпушин // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної студентської конференції «Механіка рідини і газу»- Донецьк: ДонНТУ. – 25-27 листопада 2008 р. – С. 81-83.
8. Карпушин М.Ю. О согласовании подачи эрлифта с притоком жидкости (гидросмеси). / А.П. Кононенко, М.Ю. Карпушин // Промислова гідравліка і пневматика. – 2009. - № 4 (26) - С. 32 - 38. (за матеріалами доповіді на X Міжнародній науково-технічній конференції АС ПГП "Промислова гідравліка і пневматика», Львів, 14-15 жовтня 2009 р.)
9. Карпушин М.Ю. Підвищення енергетичної ефективності ерліфта в умовах змінних приток рідини (гідросуміші). / А.П. Кононенко, М.Ю. Карпушин // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XVIII міжнародної науково-практичної конференції, Ч.І (12-14 травня 2010 р., Харків) / за ред. проф. Товажнянського Л.Л. – Харків, НТУ «ХП». – С. 133.
10. Карпушин М.Ю. Особенности рабочего процесса эрлифтов с источниками пневмоэнергии неизменной производительности. / А.П. Кононенко, М.Ю. Карпушин // XVII Міжнародна науково-технічна конференція «ГІДРОАЕРОМЕХАНІКА В ІНЖЕНЕРНІЙ ПРАКТИЦІ». Черкаси, 17-20 квітня 2012 р.: матеріали конференції – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2012. – С. 138.
11. Карпушин М.Ю. Особенности изменения гидродинамических параметров восходящего водовоздушного потока в подъемной трубе эрлифта. / А.П. Кононенко, М.Ю. Карпушин // XIII Міжнародна науково-технічна конференція АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика». Чернігів, 19-20 вересня 2012 р.: матеріали конференції. – Вінниця: ГЛОБУС-ПРЕС, 2012. – С. 128.

## АНОТАЦІЯ

**Карпушин М.Ю. Обґрунтування параметрів робочого процесу ерліфта в умовах змінних припливів рідини (гідросуміші). – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.17 – Гідравлічні машини та гідропневмоагрегати. – Сумський державний університет, Суми, 2013.

Вирішена актуальна науково-технічна задача, що полягає у підвищенні енергетичної ефективності та розширенні діапазону подач ерліфтною установкою в умовах змінних припливів рідини (гідросуміші) обґрунтуванням раціональних параметрів робочого процесу підйомника при підведенні додаткового припливу в проміжний перетин підйомної труби, що дозволяє підвищити подачу, при інших рівних умовах, до двох разів в порівнянні з ерліфтом традиційної конструкції при

збільшенні ККД робочого процесу на  $8 \div 10\%$ .

Встановлені діапазони зміни подачі ерліфта при блочному повітропостачанні радіальними нагнітачами, джерелами пневмоенергії незмінної продуктивності та при роботі підйомника в оптимальних енергетичних режимах.

Розроблені фізична та математична моделі робочого процесу ерліфта із підведенням додаткового припливу рідини (гідросуміші) у проміжний перетин підйомної труби.

Ключові слова: ерліфт, змінний приплив, джерело пневмоенергії, труба подачі, діапазон подач, додатковий приплив, тиск у змішувачі.

## АННОТАЦІЯ

**Карпушин М.Ю. Обоснование параметров рабочего процесса эрлифта в условиях переменных притоков жидкости (гидросмеси). – Рукопись.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.17 – Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты. – Сумский государственный университет, Сумы, 2013.

Решена актуальная научно-техническая задача, состоящая в повышении энергетической эффективности работы и расширении диапазона подач эрлифтной установки в условиях переменных притоков жидкости (гидросмеси) обоснованием рациональных параметров рабочего процесса подъемника при подводе дополнительного притока в промежуточное сечение подъемной трубы, что позволяет повысить максимальную подачу до двух раз в сравнении с эрлифтом традиционной конструкции при увеличении КПД рабочего процесса на  $8 \div 10\%$ .

Определены энергетически целесообразные и технически допустимые области эксплуатации [высоты подъема и диапазоны подач жидкости (гидросмеси)] эрлифтных установок традиционной конструкции при блочном воздухоснабжении серийно производимыми центробежными (радиальными) нагнетателями [в частности, нагнетателями ЦНВ 60/1,6; 360-22-1; ЦНВ 100/3,2; ЦНВ 160/3,2; ЦНВ 200/3, как представляющими группы наиболее целесообразных в составе эрлифтных установок], при пневмоснабжении источниками неизменной производительности. При этом обеспечение постоянства давления в смесителе в процессе работы эрлифтной установки с блочным воздухоснабжением радиальными нагнетателями, при прочих равных условиях, позволяет повысить максимальную подачу до 1,53 раз, в эрлифтных установках с источниками пневмоэнергии неизменной производительности - до 2,22 раз, при работе газожидкостного подъемника в оптимальных энергетических режимах – до 1,19 раз.

Разработана эрлифтная установка с подводом дополнительного притока жидкости (гидросмеси) в промежуточное сечение подъемной трубы, которая позволяет поддерживать близкое к постоянному давление в смесителе при увеличении подачи газожидкостного подъемника до двукратного значения.

Разработана математическая модель рабочего процесса эрлифта с подводом дополнительного притока жидкости (гидросмеси) в промежуточное сечение подъемной трубы.

Численный анализ математической модели позволил обосновать зоны энергетически целесообразного использования эрлифта с подводом дополнительного притока жидкости (гидросмеси) в промежуточное сечение подъемной трубы из ус-

ловия превышения подачи предлагаемого эрлифта над подачей традиционного при прочих равных условиях.

Обоснован наиболее энергоэффективный способ работы предлагаемого эрлифта в условиях переменных притоков жидкости (гидросмеси) путем последовательного, по мере увеличения дополнительного притока, его подвода в минимум два сечения подъемной трубы - от наивысшей целесообразной координаты подвода до нулевой. Данный способ обеспечивает увеличение КПД на  $8 \div 10\%$ , в сравнении с эрлифтом традиционной конструкции.

Приведены рекомендации по разработке эрлифтов с подводом дополнительного притока жидкости (гидросмеси) в промежуточное сечение подъемной трубы, представлена методика инженерного расчета таких газожидкостных подъемников.

Разработана и передана рабочая документация, изготовлены основные узлы и элементы эрлифтной установки для удаления дренажных стоков котлотурбинного цеха-2 Старобешевской ТЭС ПАО «Донбассэнерго». Ожидаемый годовой экономический эффект 67,168 тыс. грн.

Ключевые слова: эрлифт, переменный приток, источник пневмоэнергии, подающая труба, диапазон подач, дополнительный приток, давление в смесителе.

## ABSTRACT

**Karpushin M.Yu. The grounds of the parameters of the airlift working processes under the conditions of the variable fluid fluxes (hydro-mixtures). – Manuscript.**

Thesis for competition of candidate degree in material and engineering sciences on specialty 05.05.17 – Hydraulic machines and hydropneumatic units. - Sumy State University, Sumy, 2013.

The topical scientific and technical task to raise the energy efficiency of the operation and widen the range of the airlift feed under the conditions of the variable fluid influxes (hydro-mixture); to ground the rational parameters of the lift working process under the feeding of the additional influx into the maximum feed twice as much compared to the traditional airlift, and  $8 \div 10\%$  percent increasing of the working process efficiency factor.

The ranges of the airlift feed change under the block air supply made by the radial air-blowers and continuous productivity fluid power sources and under the lift operation in the optimal power modes were determined.

Developed physical and mathematical model of workflow airlift supply additional flow in the intermediate section of the lift tube.

Keywords: airlift, variable fluid fluxes, source of pneumatic energy, tube feeding, the ranges of the airlift feed, additional influx, pressure in the mixer.