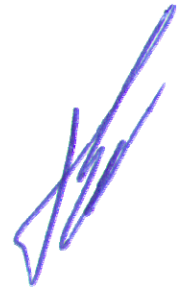


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

**ГРЯДУЩИЙ Кирило Володимирович**



УДК [622.016.222:621.68](043.3)

**ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ І  
ПАРАМЕТРІВ ШАХТНИХ ЗУМПФОВИХ ВИСОКОНАПІРНИХ  
НАСОСНО-ГІДРОЕЛЕВАТОРНИХ УСТАНОВОК**

05.05.06 – «Гірничі машини»

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Покровськ – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Філії ПАТ «Науково-дослідний інститут гірничої механіки ім. М.М. Федорова» в м.Києві (Філія ПАТ «НДІГМ ім. М.М.Федорова» в м. Києві, м. Київ).

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, завідувач відділу шахтного водовідливу Філії ПАТ «НДІГМ ім. М.М.Федорова» в м. Києві (м. Київ)

**АНТОНОВ Едуард Іванович**

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Гірничі машини» Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» (м. Покровськ) Міністерства освіти і науки України

**СЕМЕНЧЕНКО Анатолій Кирилович**

кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник Інституту геотехнічної механіки ім. М.С.Полякова Національної Академії наук України (м. Дніпро),  
завідувач лабораторії проблем діагностики та іспитів обладнання шахтних підймальних комплексів

**ІЛЬІН Сергій Ростіславович**

Захист відбудеться « 2 » жовтня 2017 р. о 12<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 11.052.05 у Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 85300, Україна, Донецька область, м. Покровськ, пл. Шибанкова, 2.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 85300, Україна, Донецька область, м. Покровськ, пл. Шибанкова, 2.

Автореферат розісланий « 1 » вересня 2017 р.

**Вчений секретар  
спеціалізованої  
вченої ради Д 11.052.05  
докт. техн. наук, доцент**



**І.Г.Сахно**

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Багаторічний досвід експлуатації зумпфових водовідливних установок свідчить про дуже низьку ефективність їх роботи. Просип твердого в зумпфи скіпових стволів, який досягає рівня 2% добового видобутку шахти, призводить до різкого підвищення його концентрації у воді, що відкачується (в середньому до 40г/л), що обумовлює різке зниження ресурсу відцентрових шахтних насосів які традиційно використовуються на зумпфовому водовідливні – з виникненням частих підтоплень зумпфів. До істотних негативних наслідків слід віднести також той факт, що технологія, яка використовується, устаткування очищення і відкачування зумпфів припускають широке використання ручної праці – при одночасному залученні 3-6 чоловік і більше. Обслуговуючий персонал працює в дуже складних, антисанітарних і, що особливо важливо, в небезпечних для життя умовах. Вищезазначене, а також суттєве підвищення в останні десятиліття глибини зумпфів, що досягає на ряді шахт 80-110 м і більше, обумовлюють необхідність перегляду існуючої технології і устаткування, що використовується для відкачування і очищення зумпфів.

Ефективним напрямом механізації зазначеного виробничого процесу, що практично не має нині альтернативних рішень, є розробка зумпфових насосно-гідроелеваторних установок (ЗНГУ) на підставі обґрунтування і створення спеціальних, високонапірних і економічних гідроелеваторних (водострумних) апаратів (ЗВА).

Тому встановлення закономірностей формування технологічних характеристик високонапірних ЗВА з урахуванням впливу виду і величини напору (підпору) при всмоктуванні, а також обґрунтування області раціональних параметрів режимів їх роботи, розробка ефективних технологічних схем, і створення на цій основі спеціальних, високонапірних і економічних гідроелеваторних (водострумних) апаратів (ЗВА) для підвищення економічності і забезпечення високопродуктивного і, переважно, безлюдного відкачування і очищення шахтних зумпфів практично будь-якої глибини є актуальним науковим завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.** Дисертаційна робота виконана у відділі шахтного водовідливу відповідно до тематичних планів робіт ПАТ «НДПМ ім. М. М. Федорова» у рамках науково-дослідної теми «Створити енергозберігаючу технологію та технічні рішення в області шахтного водовідливного комплексу галузі, що забезпечить його використання як регулювальника навантаження енергосистеми, підвищення рівня ефективності та безпеки, зниження аварійності на водовідливні» (державний реєстраційний №0108U003857), а також у рамках госпдоговірної роботи: «Розробити конструкторську документацію на високонапірний шламовий гідроелеватор, призначений для гідротранспортування просипу із зумпфовой частини ствола «Пугачівка» шахти ім.Ф.Е.Дзержинського ДП «Дзержинськвугілля». Тема дисертації затверджена вченою радою НДПМ ім. М.М. Федорова 11.01.2006 р. (протокол № 1).

### **Мета і завдання дослідження.**

*Мета дослідження* полягає у визначенні області раціональних параметрів режимів роботи високонапірних ЗВА, а також обґрунтуванні і реалізації ефективних технологічних схем ЗНГУ і на цій основі створення високонапірних ЗВА для підвищення економічності і забезпечення

високопродуктивного і, переважно, безлюдного відкачування і очищення шахтних зумпфів практично будь-якої глибини.

*Ідея роботи* полягає у використанні встановлених автором закономірностей впливу величини і виду (статичного, швидкісного) підпору при всмоктуванні високонапірних ЗВА на технологічні напірні і енергетичні характеристики і на цій основі обґрунтуванні раціональних параметрів режимів роботи і технологічних схем ЗВА і ЗНГУ в цілому.

*Об'єкт дослідження* – робочий процес і параметри високонапірних одно- і двоступінчастих схем ЗВА.

*Предмет дослідження* – технологічні напірні, енергетичні і витратні кавітаційні характеристики високонапірних ЗВА, що дозволяють враховувати вплив виду і величини підпору при всмоктуванні ЗВА на технологічні напірні і енергетичні характеристики; параметри раціональних режимів роботи ЗНГУ в цілому.

Для досягнення поставленої мети визначені і вирішені наступні наукові завдання:

- 1) встановити закономірності впливу величини і виду (статичного, швидкісного) підпору при всмоктуванні високонапірних ЗВА на технологічні напірні і енергетичні характеристики в докавітаційних режимах роботи апаратів;
- 2) визначити і обґрунтувати узагальнену область раціональних відносних параметрів режимів роботи високонапірних ЗВА з урахуванням впливу їх кавітаційних характеристик;
- 3) розробити і обґрунтувати аналітичний метод розрахунку і вибору раціональних режимів роботи ЗНГУ, гідравлічних і геометричних параметрів високонапірних, у тому числі двоступінчастих, ЗВА;
- 4) виконати експериментальні виробничі дослідження параметрів режимів роботи ЗНГУ з високонапірними одно- і двоступінчастими апаратами;
- 5) розробити і впровадити ЗНГУ з високонапірними ЗВА на шахтах вугільної промисловості України.

Для реалізації мети і рішення поставлених завдань в роботі використовувався комплексний метод дослідження, що містить: аналіз і узагальнення результатів відомих теоретичних і експериментальних робіт в області створення ефективних високонапірних ЗВА; аналітичний метод дослідження технологічних напірних і енергетичних характеристик і параметрів режимів роботи ЗВА, заснований на сучасній теорії водоструминних апаратів, що базується на використанні експериментальних гідравлічних коефіцієнтів опору їх елементів; розроблений в НДІГМ ім. М.М. Федорова графоаналітичний метод зображення і аналізу безрозмірних і розмірних витратно-кавітаційних характеристик апаратів (при обґрунтуванні раціональних параметрів режимів роботи і технологічних схем ЗВА і ЗНГУ в цілому); експериментальний метод дослідження характеристик і режимів роботи ЗНГУ в показних умовах двох діючих зумпфів шахт (глибиною 85 і 110 м).

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

*Наукові положення, що виносяться на захист.*

1. Технологічний напір, ККД і подача ЗВА виражені дрібно-раціональними функціями відносно витрати, які визначаються величиною і видом статичного або швидкісного підпору, що розглядається при цьому як питома енергія потоку, що всмокивається який додатково підводиться. Схема ЗВА із статичним підпором

перевищує традиційно рекомендований варіант з швидкісним підпором як за натиском, так і за ККД – не менше чим в 1,1 разу при відносному підпорі 0,1, що при використанні встановленої області взаємозв'язаних раціональних відносних гідравлічних (у тому числі кавітаційних) і геометричних параметрів ЗВА обґрунтовує технічну можливість створення ефективних високонапірних ЗВА при статичному підпорі при всмоктуванні.

2. У дослідженій області розмірних параметрів: напору робочого потоку  $H_p=200\dots800$  м; напору апаратів  $H_A=10\dots150$  м; підпору  $H_{\pi}=-7\dots+20$  м, залежності  $\eta_A$  апаратів від напору  $H_A$ , за умови  $H_{\pi}=\text{const}$ , характеризуються розвиненими дільницями з близькими до постійних значень  $\eta_A$ . Оптимальні або приоптимальні значення ККД ЗВА  $\eta_A=0,28\dots0,3$  забезпечуються при значеннях параметрів:  $H_p=300$  м,  $H_A=60\dots90$  м;  $U_k=0,7\dots1,2$ , при статичному підпорі –  $H_{\pi}=10\dots20$  м.

3. Ефективність (технологічний ККД) двоступінчастої схеми ЗВА виражена як функція напору апарата від відносної витрати і величини параметра статичного підпору  $H_{\pi}$  при всмоктуванні верхнього високонапірного ступеня, створюваного низьконапірним передвключеним апаратом. При цьому її ККД, в порівнянні з традиційно вживаною одноступінчастою схемою ЗВА, при  $H_{\pi}=10\dots20$  м і нульовому підпорі на вході в апарати підвищується в 1,5...2,5 рази із забезпеченням напору апарата 120...150 м при одночасному зниженні напору робочого потоку  $H_p$  не менш ніж в 1,5 рази.

*Наукова новизна отриманих результатів.*

1. Вперше отримані: технологічне розмірне енергетичне рівняння, що включає безрозмірні напірні характеристики високонапірних ЗВА, залежності балансового розподілу втрат напору в них, з урахуванням впливу виду, статистичного або швидкісного, на безрозмірні напірні характеристики високонапірних ЗВА, і величини підпору як додатково підведеної питомої енергії всмоктуваного потоку. Отримана кількісна оцінка зазначеного впливу і доведена технічна можливість розробки ефективних високонапірних ЗВА із статичним підпором при всмоктуванні.

2. Вперше отримана узагальнена безрозмірна витратно-кавітаційна характеристика ЗВА, що враховує відношення висоти всмоктування до геометричної висоти нагнітання високонапірних ЗВА. Визначена область раціональних, взаємозв'язаних між собою гідравлічних і геометричних параметрів їх ступенів, що відповідає приоптимальній і дооптимальній їх зоні (за критерієм економічної ефективності) за умов  $U_k \geq 0,85$ ;  $h \leq 0,27$ ;  $\bar{P}_k \leq 50$ .

3. Розроблений новий аналітичний метод розрахунку режимів роботи ЗНГУ, в основу якого покладені вперше встановлені: аналітичні розмірні напірні характеристики ступенів ЗВА, що є функціями витрати змішаного потоку на виході з апарата; області раціональних відносних і розмірних гідравлічних (у тому числі кавітаційних) і геометричних параметрів високонапірних ЗВА; залежність ККД високонапірних двоступінчастих ЗВА від відносних значень подачі і напору ступенів, що підвищує точність розрахунку і дозволяє оцінювати вплив усього комплексу найбільш важливих технологічних, геометричних і гідравлічних параметрів ЗНГУ в цілому на параметри режимів їх роботи і ККД.

4. Вперше теоретично доведено і експериментально (в показових умовах двох діючих зумпфів глибиною 110 м і 85 м) підтверджено, що нова двоступінчаста технологічна схема високонапірного ЗВА із статичним підпором на вході у верхній ступінь, який забезпечується передвключеним низьконапірним ступенем, в порівнянні з традиційно вживаною схемою з одноступінчастим апаратом при нульовому підпорі на їх вході забезпечує підвищення ККД в 1,5..2,5 рази при зниженні необхідного напору робочого потоку не менш ніж в 1,5 рази.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій** дисертаційної роботи обумовлені коректним застосуванням: методів математичного аналізу стосовно досліджень гідравлічних і енергетичних характеристик ЗВА, обґрунтуванню методу дослідження і розрахунку режимів роботи ЗНГУ, що оснащені високонапірними ЗВА; результатами експериментальних досліджень, виконаних в показових натурних (промислових) умовах двох глибоких зумпфів скіпових стволів діючих шахт, на основі стандартних методик з використанням вимірювальних приладів достатньої точності; задовільним узгодженням результатів теоретичних і експериментальних (виробничих) досліджень характеристик і режимів роботи ЗНГУ, оснащених високонапірними двоступінчастими ЗВА. Розбіжність порівнюваних параметрів: по напору – не більше 1 %, по подачі – не більше 2,5 %, по ККД апаратів – не більше 8 %; позитивними результатами багаторічної (близько шести років) експлуатації промислових зразків з високонапірними ЗВА (трьох з двоступінчастими і одного з одноступінчастою схемами) у складі двох ЗНГУ.

**Наукове значення** роботи полягає у встановленні закономірностей формування технологічних напірних і енергетичних, а також витратно-кавітаційних характеристик високонапірних ЗВА з урахуванням впливу виду і величини напору (підпору) при всмоктуванні, що дозволили обґрунтувати область раціональних параметрів режимів їх роботи і принципи технологічного проектування ЗНГУ з високонапірними ЗВА; у обґрунтуванні методу розрахунку і вибору раціональних режимів роботи ЗНГУ в цілому при оснащенні їх високонапірними ЗВА, у тому числі новою, двоступінчастою схемою апарата; у обґрунтуванні доцільності створення спеціальних аварійних ЗВА з підвищеною подачею.

**Практичне значення** отриманих результатів дослідження полягає в розробці і практичній реалізації методики дослідження, розрахунку і вибору раціональних гідравлічних і геометричних параметрів високонапірних ЗВА, у тому числі двоступінчастої технологічної схеми з високонапірною (основною) і низьконапірною ступенями, що забезпечує в порівнянні з традиційною одноступінчастою схемою ЗВА підвищення експлуатаційного ККД в 1,5..2,5 рази і зниження необхідного напору робочого потоку не менш ніж в 1,5 рази.

Результати дослідження використані при підготовці СОУ 10.1.24183643.006:2007 «Водозбірники» (акт від 30.10.2013 р., затверджений наказом Міністерства вугільної промисловості України № 545 від 7.12.2007 р.).

**Реалізація висновків і рекомендацій роботи.** За результатами дисертаційної роботи вперше в практиці гірничої промисловості України

розроблені, впроваджені і отримали практичне використання високонапірні двоступінчасті ЗВА на зумпфових водовідливах глибоких зумпфів (глибиною 95 і 110 м) двох шахт (ім. Ф.Е.Дзержинського ДП «Дзержинськвугілля» (акт від 28.01.2013 р.), і «Жовтневий рудник» ДП «ДУЕК» (акт від 12.08.2010 р.)), що дозволило успішно вирішити важливе виробниче завдання – задіювання скіпових підйомів для забезпечення високопродуктивної видачі вугілля, що видобувається, на поверхню. Це, у свою чергу, дало можливість інтенсифікувати розвиток робіт по видобутку вугілля на відповідних горизонтах шахт. Відповідно до даних фахівців шахти «Жовтневий рудник» економічний ефект від впровадження установки складає не менше 1 млн. грн. на рік.

Результати дисертаційної роботи використані вченими і фахівцями ПАТ «НДІГМ ім. М. М. Федорова» при виконанні науково-дослідних робіт. Новизна і практична значущість двоступінчастої схеми високонапірного ЗВА підтверджені патентом України.

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційна робота автором виконана самостійно, включаючи формулювання мети і головної ідеї, постановку і рішення завдань досліджень, розробку математичних моделей і комп'ютерних програм, обробку експериментальних даних, аналіз і узагальнення отриманих результатів, а також підведення підсумків дослідження, відбитих в загальних висновках до роботи. Текст дисертації викладений автором особисто.

**Апробація результатів дослідження.** Результати дисертаційної роботи докладалися на: науково-технічній конференції «Проблеми експлуатації устаткування шахтних стаціонарних установок», присвяченої 80-річчю НДІГМ ім. М. М. Федорова (Донецьк, 2009); XII Міжнародній науково-технічній конференції АСПГП «Промислова гідравліка і пневматика» (Донецьк, 2011); молодіжній науково-практичній конференції «Сучасний стан і напрям розвитку інформаційних технологій: інформаційні технології в гірничій промисловості» (Донецьк, 2013); міжнародній щорічній науково-практичній конференції «Освіта, наука, виробництво» (РФ, Вязьма, 2013); засіданнях вченої ради і тематичних наукових семінарах НДІГМ ім. М. М. Федорова (2004-2016); науковому семінарі ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України (Покровськ, 2016).

**Публікації.** За матеріалами дослідження опубліковано 16 робіт (3 – без співавторів), з них 3 статті – в зарубіжних виданнях і вітчизняних, таких, що входять до міжнародних наукометричних баз, 9 статей – у фахових наукових виданнях переліку МОН України, 4 статті і тези виступів в збірках матеріалів науково-технічних і науково-практичних конференцій, галузевий стандарт, 1 патент України на корисну модель.

**Обсяг і структура дисертації.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (71 найменування), п'яти додатків. Повний текст викладений на 181 сторінці.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовані актуальність виконаних досліджень і ступінь розробки досліджуваної теми, приведена загальна характеристика роботи: визначені предмет, об'єкт, мета і завдання дослідження, розкриті наукова

новизна і практична цінність отриманих результатів, представлені відомості про апробацію.

У першому розділі «Стан питання і постановка завдань досліджень» наданий аналіз існуючої технології очищення і відкачування зумпфів на шахтах СНД, у тому числі й на шахтах України, з якого виходить, що зумпфовий водовідлив характеризується високою трудомісткістю робіт, низькими ефективністю і надійністю устаткування, що використовується, підвищеною небезпекою виникнення важких аварійних ситуацій. Цим обумовлено необхідність перегляду існуючого процесу очищення і відкачування зумпфів, що найбільшою мірою стосується зумпфів з глибиною, яка перевищує 50÷70 м.

У зв'язку з цим обґрунтовані основні напрями розвитку зумпфового водовідливу: розробка зумпфових насосно-гідроелеваторних установок на основі створення спеціальних високонапірних, надійних і економічних водострумінних апаратів; вдосконалення технологічних схем установок; розробка ефективного методу розрахунку і вибору раціональних параметрів апаратів з урахуванням їх кавітаційних характеристик.

При цьому на базі огляду відомих наукових робіт встановлено, що найбільше визнання і поширення на практиці отримали результати досліджень, методи розрахунку і вибору параметрів одноступінчастих гідроелеваторів, що представлені в роботах Подвидза Л.Г., Кириловського Ю.А., Соколова Є.Я., Зінгера Н.М., Каменєва П. Н., Сизова Г. Н., Лямаєва Б.Ф., які розглядаються як фундаментальні при створенні сучасної теорії і методів розрахунку параметрів водострумінних апаратів традиційної конструкції.

У розвиток шахтних, у тому числі зумпфових, насосно-гідроелеваторних установок помітний вклад внесли такі науковці, як Гейєр В. Г., Безуглов Н.Н., Болотських Н.С., Биков А.І., Яковлев В. Н., Антонов Е.І., Беліков П.Ф., Романов В.О., Тимохін Ю.В. та інші. Водночас слід зазначити, що лише порівняно невелика кількість досліджень була присвячена в тій або іншій мірі питанням створення ефективних апаратів підвищеного напору. До них слід віднести в основному роботи Каменєва Л.Н., Безуглова Н.Н., Щербіни Г.С., Болотських Н.С., Антонова Е.І.

З аналізу робіт згаданих та інших авторів виходить, що отримані результати досліджень не дають досить чіткої оцінки: впливу виду і величини підпору при всмоктуванні апаратів на їх робочі характеристики і параметри, а також ефективності перспективної для зумпфового водовідливу високонапірної двоступінчастої схеми апарата з передвключеним низьконапірним ступенем. Не був обґрунтований аналітичний метод розрахунку параметрів режимів роботи насосно-гідроелеваторних установок з одно- і двоступінчастими апаратами, що не дозволяє здійснювати вибір найбільш ефективної сукупності їх параметрів на етапі проектування. Усе це разом з відсутністю даних, що підтверджують можливість багаторічної, надійної і ефективної експлуатації апаратів в умовах зумпфів скіпових стволів з глибиною до 100-120 м і більше, не дозволяє вирішити завдання щодо забезпечення високопродуктивного, переважно безлюдного, відкачування і очищення зумпфів підвищеної глибини.



На основі виконаного аналізу сформульована мета і визначені завдання дослідження.

У другому розділі «Аналітичні дослідження впливу виду і величини підпору при всмоктуванні високонапірних зумпфових водоструминних апаратів на їх технологічні характеристики і параметри» введено поняття і обґрунтована доцільність дослідження технологічних напірних і енергетичних характеристик і параметрів високонапірних ЗВА, що враховують вплив величини і виду підпору при їх всмоктуванні.

На основі використання рівняння імпульсів у виді, що отримав найбільш широке застосування при дослідженні «нормальних» характеристик апаратів (у роботах Соколова Є.Я. і Зінгера Н.М.), отримані розмірне енергетичне рівняння ЗВА і технологічні безрозмірні напірні характеристики апаратів, що відображають вплив статичного, швидкісного і нульового підпорів, а також розрідження при їх всмоктуванні:

- для випадку  $h_{ex.cm} = h_{ex.ck} = 0$ , коли напірна технологічна характеристика повністю відповідає «нормальній» характеристиці апарата

$$h = \frac{1}{1+U} - \frac{1}{(1+U)(1+\xi_c)} \left[ U \left( \phi_2 Z_0 - \frac{1+U}{m} \right)^2 + \left( \phi_2 - \frac{1+U}{m} \right)^2 + \Sigma \xi \frac{(1+U)^3}{m^2} + \xi_{ex} U \frac{(1+U)^2}{m^2} + \xi_c \right]; \quad (1)$$

- для варіантів роботи апарата із статичним підпором ( $h_{ex} = h_{ex.cm}$ ) або розрідженням ( $h_{ex.cm} = h_{ex.вак}$ ) відповідно

$$h_{cm} = \frac{1}{1+U} \pm \frac{h_{ex.cm} U}{1+U} - \frac{1 \mp h_{ex.cm}}{(1+U)(1+\xi_c)} \left[ U \left( \phi_2 \frac{U}{n} - \frac{1+U}{m} \right)^2 + \left( \phi_2 - \frac{1+U}{m} \right)^2 + \Sigma \xi \frac{(1+U)^3}{m^2} + \xi_{ex} U \frac{(1+U)^2}{m^2} + \xi_c \right]; \quad (2)$$

- при забезпеченні швидкісного підпору при всмоктуванні апарата ( $h_{ex} = h_{ex.ck}$ ,  $h_{ex.cm} = 0$ )

$$h_{ck} = \frac{1}{1+U} + \frac{h_{ex.ck} U}{1+U} - \frac{1}{(1+U)(1+\xi_c)} \left[ U \left( \phi_2 Z - \frac{1+U}{m} \right)^2 + \left( \phi_2 - \frac{1+U}{m} \right)^2 + \Sigma \xi \frac{(1+U)^3}{m^2} + \xi_{ex} U \frac{(1+U)^2}{m^2} + \xi_c \right], \quad (3)$$

де  $h = H_3 / H_p$ ,  $U = Q_{ex} / Q_p$  - відносний напір і витрата апарата;  $m = f_2 / f_{p1} = d_k^2 / d_c^2$  - відношення площі  $f_2$  камери змішування до площі  $f_{p1}$  вихідного отвору сопла,  $m = n + 1$ ;  $\xi_{ex}$ ,  $\xi_c$  - коефіцієнти опору вхідної ділянки апарату і сопла;  $\phi_2$  - коефіцієнт швидкості камери змішування;  $Z_0 = V_{ex.0} / V_{p.0}$ , рівний відношенню вхідної швидкості  $V_{ex.0}$  до швидкості робочого потоку  $V_{p.0}$  (у перерізі зрізу сопла) за умови нульового підпору;  $h_{ex.cm} = H_{ex.cm} / H_p$ ,  $h_{ex.ck} = H_{ex.ck} / H_p$ ,  $h_{ex.p3} = H_{ex.p3} / H_p$  - коефіцієнти статичного, швидкісного підпору і розрідження при всмоктуванні апарата.

Обґрунтовані залежності для визначення технологічного ККД апаратів:

$\eta_0 = U \cdot h_0$  - для варіанта нульового підпору,  $\eta_{cm} = \frac{U h_{cm}}{1 + U h_{ex.cm}}$  - при статичному

підпорі,  $\eta_{p3} = \frac{U h_{p.вак}}{1 - U h_{ex.вак}}$  - для варіанта з розрідженням при всмоктуванні,

$\eta_{ck} = \frac{U h_{ck} (1 + \xi_c)}{1 + \xi_c + Z^2 U}$  - при організації швидкісного підпору.

Визначені вирази для розрахунку: оптимальних значень параметра  $m$  у варіантах нульового підпору –  $m_{opt.0}$ , статичного –  $m_{opt.cm}$  і розрідження при всмоктуванні –  $m_{opt.вак}$ , що описується однаковою для усіх трьох випадків формулою:

$$m_{opt} = \frac{(1+U)[(1+U) + \sum \xi(1+U) + \xi_{ex} U]n}{\varphi_2(U^2 + n)}; \quad (4)$$

оптимального значення  $m_{opt.ck}$  у варіанті створення швидкісного підпору:

$$m_{opt.ck} = \frac{(1+U)[(1+U) + \sum \xi(1+U) + \xi_{ex} U]}{\varphi_2(UZ + 1)}. \quad (5)$$

На основі використання залежностей (1-5) виконані дослідження впливу величини і виду, статичного і швидкісного, підпору при всмоктуванні високонапірних ЗВА на їх технологічні напірні і енергетичні характеристики, в передкавітаційних режимах роботи апаратів. До основних результатів аналізу можна віднести наступне:

- створення підпора, як статичного, так і швидкісного, на вході водострумних апаратів призводить до підвищення їх технологічного напору і ККД, в основному, за рахунок зниження долі втрат на зміщення потоків, з тенденцією зростання ККД по мірі підвищення величини підпору і оптимальної подачі апаратів;
- на відміну від традиційних уявлень варіант роботи апаратів із статичним підпором забезпечує помітніше зниження втрат енергії на змішування потоків і втрат в дифузорі, завдяки чому (з урахуванням простішої реалізації і ефективного виключення кавітаційних явищ в апаратах) він є економічно вигіднішим в порівнянні з варіантом з «чисто» швидкісним підпором (що відповідає традиційно рекомендованому підвищенню рівня швидкостей  $V_{ex}$  на вході в камеру змішення).

Останнє підтверджується як при безпосередньому порівнянні технологічних звідних напірних характеристик апаратів і характеристик ККД  $\eta_{opt.cm}(u)$  і  $\eta_{opt.ck}(u)$ , так і даними з дослідження балансу енергії при роботі апаратів з нульовим, статичним і швидкісним підпором на оптимальних режимах їх роботи. Залежності окремих складових балансу енергії для усіх варіантів роботи апаратів були отримані на основі використання характеристик (1-3). При цьому встановлено, що при цілком реальному для зумпфового водовідливу значенні  $h_{ex.cm} = h_{ex.ck} = 0,1$  величина  $\eta_{opt.cm}(u)$  перевершує значення  $\eta_{opt.ck}(u)$  не менше, чим в 1,1 разу. Таким чином підтверджено **перше наукове положення**.

Заслуговує також на увагу той факт, що, як впливає з рис. 1, 2, з підвищенням статичного підпору  $h_{ex.cm}$  значення  $U_{opt}$  зміщується убік більших подач  $U$ . Наприклад, за допомогою апарата з  $m = 4$  при збільшенні підпору від нуля до  $h_{ex.cm} = 0,2$  оптимальна подача збільшується з  $U_{opt} \approx 1,30$  до  $U_{opt} \approx 1,65$ , тобто приблизно в 1,27 рази.

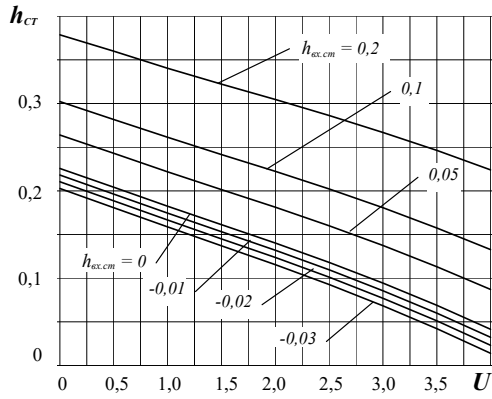


Рис. 1. Напірні характеристики апаратів  $h_{CT}(U)$  при  $m = 9$  і діапазоні  $h_{BX,CT} \in [-0,03; 0,2]$

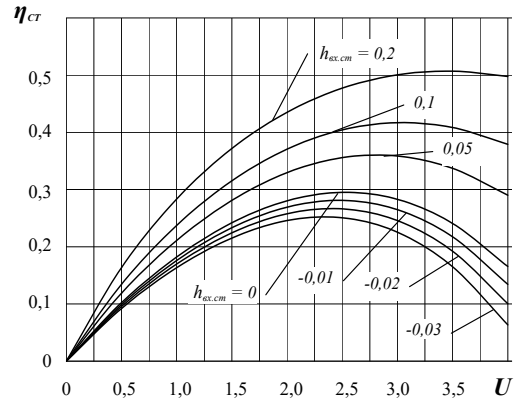


Рис. 2. Характеристики апаратів  $\eta_{CT}(U)$  при  $m = 9$  і діапазоні  $h_{BX,CT} = -0,03; 0,2$

Узагальнюючи отримані результати досліджень з урахуванням даних, наведених в роботах Каменєва П. Н., Болотських Н.С., Щербіни Г. С. і інших дослідників, можна вважати, що використання статичного підпору при всмоктуванні високонапірних апаратів є одним з найбільш ефективних напрямів підвищення їх техніко-економічних показників, а також вдосконалення технологічних схем шахтних насосно-гідроелеваторних установок в цілому. Особливу значущість набуває можливість підвищення експлуатаційної подачі  $Q_{ex}$  зумпфових апаратів при необхідності оперативного відкачування і очищення зумпфів в аварійних умовах затоплення останніх, коли автоматично створюються можливості «безвитратного» використання статичного підпору при всмоктуванні апаратів.

У третьому розділі «Обґрунтування області раціональних параметрів і ефективних технологічних схем зумпфових насосно-гідроелеваторних установок з урахуванням кавітаційних характеристик апаратів» для обґрунтування області раціональних параметрів високонапірних зумпфових апаратів як теоретичної основи використаний розроблений в НДІГМ ім. М.М. Федорова метод узагальнення (синтезу) параметрів апаратів з урахуванням їх кавітаційних характеристик за допомогою витратно-кавітаційної характеристики.

З цією метою була встановлена залежність кавітаційного коефіцієнта подачі  $U_K$  безпосередньо від співвідношення значень абсолютного напору на всмоктуванні  $H_H$  і напору  $H_A$ , що створюється апаратом:

$$U_K = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad (5)$$

$$\text{де } b = \frac{2\varphi_1^2}{n^4}(2 - \varphi_3^2); \quad c = -\left[ \frac{2\varphi_1^2\varphi_2}{n^2} - \frac{\varphi_1^2}{n^4}(2 - \varphi_3^2) \right]; \quad A_K = \frac{H_H + 10}{H_A}$$

$$a = 1/\left(\frac{\varphi_4}{\varphi_1}\right) \cdot (n^2 - 1)A_K - \frac{\varphi_1^2}{n^2(n^2 - 1)}\left(2\varphi_2 - \frac{1}{\varphi_4^2}\right) + \frac{\varphi_1^2}{n^4}(2 - \varphi_3^2).$$

Одночасно використовуємо відомі залежності

- відносної подачі  $U$  апарата від його напору  $h = H_A / H_P$  і параметра  $n$ :

$$U = f(h, n);$$

- оптимальної відносної подачі  $U_{opt}$  апарата від параметра  $n$ :  $U_{opt} = \psi(n)$ .

Завдяки поданню вищезазначених залежностей в критерійному, безрозмірному виді вдалося розробити узагальнену зведену витратно-кавітаційну характеристику зумпфових апаратів. На рис. 3 представлений варіант такої характеристики, побудованої з урахуванням наступних припущень:

- втрати напору при всмоктуванні і в трубопроводах близькі до нуля, що можна забезпечити за рахунок відповідного вибору їх діаметрів;
- напір апарата  $H_A$  дорівнює висоті його нагнітання  $H_{ГА}$ , що визначається глибиною зумпфа;
- критерій динамічної подібності, число Рейнольдса для сопла, відповідає умові авто-модельності  $Re \geq 10^6$ ;
- відносна подача апарата  $U$ , що гранично реалізовується, дорівнює кавітаційному коефіцієнту подачі  $U_K$ :  $U = U_K$ ;
- насос використовується тільки для цілей живлення сопла апарата.

На осі абсцис відкладені значення параметра  $n = d_K / d_C$ , а на осі ординат – відносні значення подачі апаратів  $U$  і  $U_K$ . Криві, що відповідають умові  $n = \text{const}$ , побудовані з використанням рівняння (6), а крива  $U_{opt}(n)$  – за допомогою виразу (7). Залежності  $A_K = \text{const}$  встановлюють значення  $U_K$  і величини  $h$ , що відповідають ним, при відповідних значеннях  $n$ .

Ця характеристика, на відміну від відомих, забезпечує можливість визначення усіх взаємопов'язаних в ній між собою основних безрозмірних величин –  $U_K$ , або  $U$ ,  $h$ ,  $A_K$  і  $n$  (а значить, і розмірних параметрів  $Q_{BC}$ ,  $H_A$ ,  $H_H$ ,  $H_{НАС}$ ,  $d_C$  і  $d_G$ ), що характеризують великою мірою роботу насосно-струминної установки в цілому, а не тільки апарата.

З аналізу витратно-кавітаційної характеристики постає, що в умовах зумпфового водовідливу висота всмоктування (підпір) дуже істотно впливає на

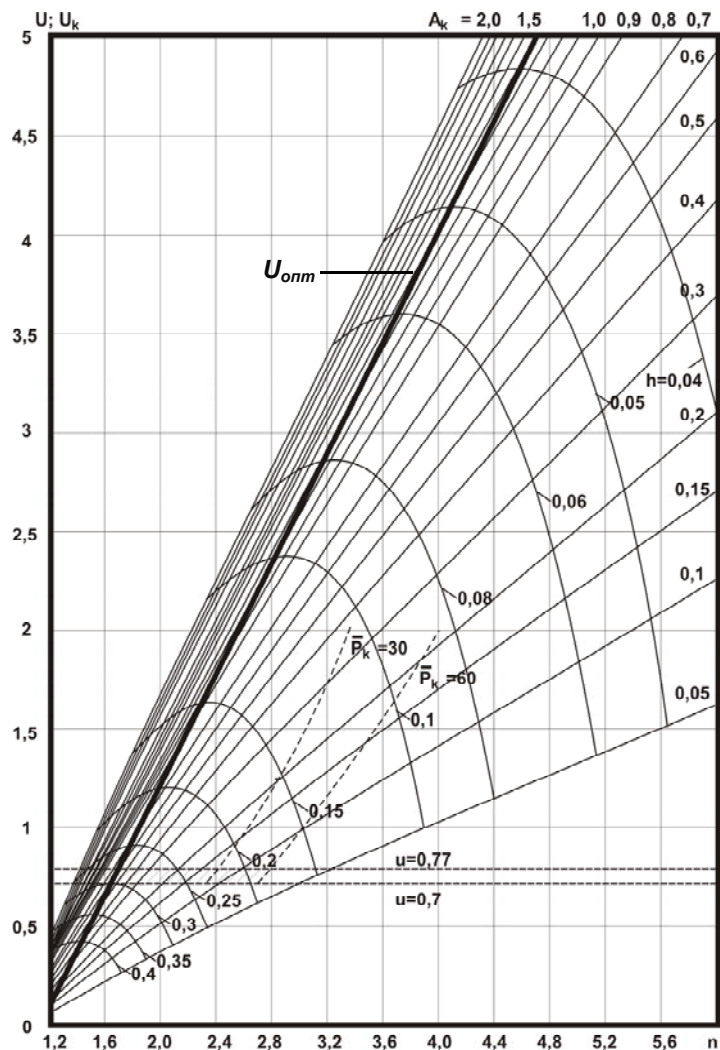


Рис. 3. Витратно-кавітаційна характеристика водоструминних апаратів у складі зумпфової водовідливної установки

максимально досягне значення подачі  $U = U_K$  апаратів, яке стає усе більш значимим зі збільшенням глибини зумпфів. При цьому відносне збільшення або зменшення  $U_K$  при зростанні підпору або позитивної висоти всмоктування в порівнянні зі значенням подачі  $U_{K0}$  при нульовому підпорі від відношення діаметрів  $d_K/d_C$  не залежать. Сама ж подача  $U_{K0}$  помітно знижується із зменшенням відношення  $d_K/d_C$  та із збільшенням глибини зумпфів.

Далі, на основі спільного аналізу витратно-кавітаційної характеристики і встановлених витратно-енергетичних залежностей апаратів дано обґрунтування узагальненої області раціональних параметрів і технологічних схем високонапірних зумпфових водоструминних апаратів, найбільш вигідних за умовами економічності, кавітаційними параметрами і рядом інших факторів, взаємнополучених між собою розмірних значень напорів: апаратів –  $H_A$ , робочого потоку –  $H_P$ , напору потоку при всмоктуванні –  $H_H$ , властивих зумпфовим апаратам.

Встановлена узагальнена область раціональних «нормальних» параметрів режимів роботи високонапірних ЗВА, що відповідають приоптимальній і передоптимальній їх зоні, за умов вибору коефіцієнта подачі –  $U \geq 0,85$ ; коефіцієнта напору –  $h \leq 0,27$ ; напору при всмоктуванні –  $H_H \geq 10$  м. У дослідженій області розмірних параметрів: напору робочого потоку  $H_P = 200 \dots 800$  м; напору апаратів  $H_A = 10 \dots 150$  м; підпору  $H_{п} = -7 \dots +20$  м, залежності  $\eta_A$  апаратів від напору  $H_A$ , за умови  $H_{п} = \text{const}$ , характеризуються розвиненими ділянками з близькими до постійних значень  $\eta_A$ . Оптимальні або приоптимальні значення ККД ЗВА  $\eta_A = 0,28 \dots 0,3$  забезпечуються при значеннях параметрів:  $H_P = 300$  м,  $H_A = 60 \dots 90$  м;  $U_K = 0,7 \dots 1,2$ , при статичному підпорі –  $H_{п} = 10 \dots 20$  м. Таким чином підтверджено **друге наукове положення**.

Ефективна реалізація встановленої області параметрів високонапірних ЗВА стає можливою при експлуатації із статичним підпором при всмоктуванні до  $20 \dots 25$  м. Це обумовлює доцільність дослідження і розробки запропонованої і запатентованої нової двоступінчастої технологічної схеми апаратів, що включає високонапірний верхній ступінь, вказана величина підпору при всмоктуванні якого забезпечується за допомогою низьконапірного передвключеного, ступеня підкачки, призначеного одночасно для ефективного забору гідросуміші при нульовому або близькому до нього підпорі.

Проведено порівняння технологічних схем високонапірних одноступінчастого і двоступінчастого зумпфових водоструминних апаратів, з якого постає, що в останньому може бути забезпечене повне виключення кавітаційних режимів роботи обох його ступенів. Саме завдяки цьому ця схема обумовлює реальні передумови для різкого підвищення експлуатаційних значень не лише напору  $H_A$ , але й експлуатаційних ККД, а також подачі апарата практично при будь-якій глибині шахтних зумпфів.

**У четвертому розділі «Обґрунтування методу розрахунку режимів роботи зумпфових насосно-гідроелеваторних установок з одноступінчастими і двоступінчастими гідроелеваторами» встановлена**

система аналітичних виразів, що визначають однозначну залежність режимів роботи насосно-гідроелеваторної установки від усіх інших (технологічних, гідравлічних, геометричних) її параметрів, що забезпечує точне і повне розрахункове визначення режимів установки, як з одноступінчастим, так і з двоступінчастим апаратом, і надає розрахунку ясний фізичний сенс, властивий розрахунку насосних, у тому числі водовідливних, установок.

На основі використання теореми імпульсів отримано безрозмірне рівняння напірної характеристики апаратів :

$$h = \varphi_1^2 \kappa^2 \left[ 2\varphi_2 + \left( 2\varphi_2 - \frac{1}{\varphi_4^2} \right) \frac{\kappa^2 U^2}{1 - \kappa^2} - (2 - \varphi_3^2) \kappa^2 (1 + U)^2 \right], \quad (8)$$

де  $\kappa = d_c / d_\Gamma$ .

Після відповідних перетворень (8) записано у вигляді:

$$h = \varphi_1^2 \frac{1}{n^2} \left[ 2\varphi_2 + \left( 2\varphi_2 - \frac{1}{\varphi_4^2} \right) \frac{(\bar{Q}_{VCT} - 1)^2}{n^2 - 1} - (2 - \varphi_3^2) \frac{1}{n^2} \bar{Q}_{VCT}^2 \right] \quad (9)$$

і використано для цілей розрахунку режимів роботи установок з водоструминними апаратами.

Значення подачі апарата  $Q_{VCT}$  :

$$Q_{VCT} = \frac{A_a H_p / Q_p + \sqrt{(A_a H_p / Q_p)^2 + 4(R_{TP} + B_a H_p / Q_p^2)(H_{0a} \cdot H_p - H_{\Gamma.A})}}{2(R_{TP} + \frac{B_a H_p}{Q_p^2})}. \quad (10)$$

Після розрахунку подачі  $Q_{VCT}$  визначені: значення напору  $H_a$  апарата, відносна подача  $U$ , а також значення найбільш важливого параметра –  $Q_{BC}$ .

Характеристики системи робочих гідроліній апарата представлені у вигляді рівняння складної зовнішньої мережі

$$Q_p = \sqrt{\frac{H_{PP} + H_{\Gamma A1} - H_{П1}}{\Sigma R_1}} + \sqrt{\frac{H_{PP} - H_{П2}}{\Sigma R_2}}, \quad \text{напірна характеристика насоса}$$

$H_{PP} = H_0 + H_{\Gamma 2} + A Q_p - (B + R_{TP.M}) Q_p^2$  приведена до точки розподілу робочих потоків, що дозволяє досить просто і надійно визначити усі необхідні розрахункові параметри установки «робітник–насос-система робочих гідроліній двоступінчастого апарата».

При розрахунку режимів роботи двоступінчастого водоструминного апарата для верхнього ступеня використана залежність

$$h_2 = \varphi_1^2 \frac{1}{n_2^2} \left[ 2\varphi_2 + \left( 2\varphi_2 - \frac{1}{\varphi_4^2} \right) \frac{(\bar{Q}_{VCT} - 1)^2}{n_2^2 - 1} - (2 - \varphi_3^2) \frac{1}{n_2^2} \bar{Q}_{VCT}^2 \right], \quad (11)$$

де  $n_2 = d_{K2} / d_{C2}$ ;  $d_{K2}$ ;  $d_{C2}$  – діаметри камери змішування і сопла верхнього апарата, перетворюючи, яку отримуємо еквівалентні напірні характеристики:

- верхнього ступеня апарата у вигляді:

$$H_2 = H_{P2} (H_{0a2} + A_{a2} \frac{Q_{VCT}}{Q_{P2}} - B_{a2} \frac{Q_{VCT}^2}{Q_{P2}^2}), \quad (12)$$

- нижнього ступеня установки у вигляді:

$$H_{a1} = H_{P1} \left( H_{0a1} + A_{a1} \frac{Q_{VCT}}{Q_{P1}} - B_{a1} \frac{Q_{VCT}^2}{Q_{P1}^2} \right). \quad (13)$$

У результаті обидві характеристики (12) і (13) приведені до однієї і тієї ж змінної, а саме до витрати сумарного потоку на виході апарата –  $Q_{VCT}$ , що дозволило використовувати як графічний, так і аналітичний методи розрахунку режимів роботи установки.

Після визначення величини  $Q_{VCT} = \frac{-\epsilon + \sqrt{\epsilon^2 - 4ac}}{2a}$  з'явилася можливість для встановлення інших найбільш важливих розрахункових величин: підпору  $H_{П2}$  при всмоктуванні верхнього ступеня, подачі апарата –  $Q_{BC}$ , загального його напору  $H_{VCT}$  і т.д.

Використання описаного вище методу розрахунку дозволило отримати залежність напірної характеристики двоступінчастого апарата також у вигляді функції однієї змінної – витрати  $Q_{VCT}$  на виході з апарата.

Для апаратів двоступінчастої конструкції встановлена залежність для розрахунку ККД, що заснована на використанні у якості початкових відносних значень подач і напорів ступенів:

$$\eta_{2CT} = \frac{U_1 U'_2}{U_1 + U'_2} \left( \frac{h_1}{1 - h_1 - \kappa_2 h_1} + \frac{h_2}{1 - h_2} \right). \quad (14)$$

При розробці методики розрахунку режимів роботи ЗНГУ в першу чергу був здійснений вибір геометричних параметрів високонапірних апаратів, що повністю визначають технологію відкачування, режими роботи установок і геометрію апаратів і в цілому ефективність і сферу застосування даних установок. А саме: глибина зумпфа, що обумовлює геометричну висоту нагнітання  $H_{Г.А}$ , м; приплив води  $Q_{ПР.3}$ , м<sup>3</sup>/ч; максимальне значення великості твердого, що гідротранспортується установкою  $K_{ТВ}$ , мм; траси прокладення трубопроводів робочої рідини і напірного трубопроводу (пульповода), що дає можливість визначення їх довжини, діаметра і гідравлічного опору; типу, подачі (м<sup>3</sup>/ч) і напору (м) насосів водовідливу, або спеціально призначеного для живлення апарата робочим потоком робочого насоса; довжину робочого трубопроводу (від робочого насоса до апарата), м. До первинних даних, що задаються нами, також віднесена і необхідна подача апарата  $Q_{BC}$ .

Після чого з використанням залежностей витрати робочої рідини

$$Q_P = \frac{A + \sqrt{A^2 + 4(\Sigma R + B)(H_0 + H_{Г.А})}}{2(\Sigma R + B)} \quad \text{або} \quad Q_P = \sqrt{\frac{H_\Phi + H_{Г.А}}{\Sigma R + B_K}}$$

і подачі апарата  $Q_{VCT}$  (10) були визначені режими роботи ЗНГУ.

При розрахунку двоступінчастого водоструминного апарата враховували раціональний перерозподіл напорів між ступенями і узгодження їх подачі  $U'_2 \leq U'_{2K}$  і  $U'_1 \leq U'_{1K}$  з урахуванням можливості забезпечення необхідного підпору  $H_{П2}$  при всмоктуванні другого ступеня. Останнє є дуже важливою умовою

забезпечення необхідної напірності і економічності, а також подачі високонапірного апарата  $Q_{BC}$  двоступінчастої схеми апарата в цілому.

Розроблений метод дозволяє здійснювати ефективний вибір усіх найбільш важливих гідравлічних і геометричних параметрів високонапірних апаратів, що однозначно між собою сполучаються. При цьому вперше забезпечується можливість виконання точного розрахунку режимів роботи апаратів аналогічно методу розрахунку водовідливних установок.

**У п'ятому розділі «Результати виробничих досліджень, впровадження в промисловість зумпфових високонапірних насосно-гідроелеваторних установок»** на основі використання розробленого в розділі 4 методу виконані розрахунки параметрів установок для умов відкачування припливу і очищення одного з найбільш глибоких у галузі зумпфів діючого скіпового ствола «Пугачівка» (на гор. 1146 м) шахти ім. Ф.Е. Дзержинського ДП «Дзержинськвугілля».

Вибір розміщення ступенів двоступінчастого апарата здійснювався з урахуванням технологічних особливостей зумпфа і використанням витратно-кавітаційної характеристики апаратів (рис. 3).

В процесі аналізу розрахункових параметрів був встановлений помітний вплив на подачу апарата  $Q_{вс}$  і його ККД –  $\eta_{вст}$  довжини і діаметра напірного трубопроводу за другим ступенем. При цьому отримані важливі для практики результати аналізу: порівняльне підвищення коефіцієнтів швидкості основних елементів апаратів, що просто реалізовується, на 1,5...3%, в порівнянні з рекомендованими (наприклад, в роботах Соколова Є.Я і Зінгера Н.М.) дає можливість використовувати діаметр пульпопроводу  $d_n=200$  мм замість  $d_n=300$  мм, що в даному випадку при фактичній його довжині  $L_n=360$  м стало економічно вигідним. До найбільш важливих для теорії і практики результатів аналізу слід віднести також той факт, що застосування двоступінчастого апарата забезпечує можливість підвищення  $\eta_{вст}$ , в порівнянні з традиційно вживаною одноступінчастою схемою у 1,5÷2,5 рази (за умови близького до нульового підпору при всмоктуванні).

На основі результатів розрахунків був розроблений робочий проект двоступінчастої ЗНГУ, призначеної для очищення і відкачування зазначеного зумпфа. Дві установки, робоча і резервна, були виготовлені, змонтовані і введені в експлуатацію в 2007 році, виконані інструментальні виміри параметрів режимів їх

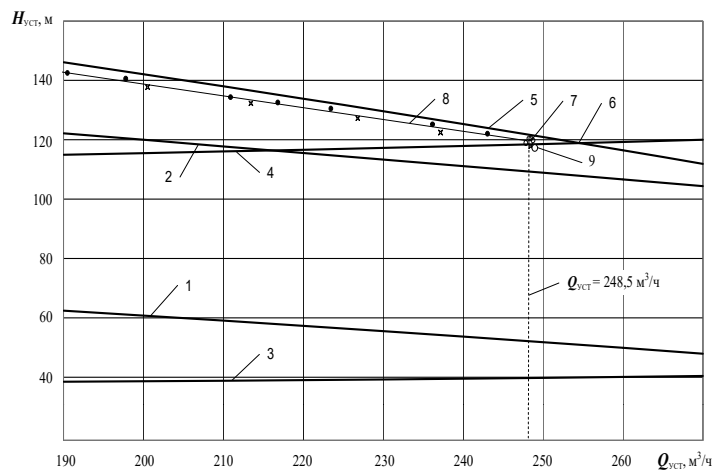


Рис. 4. Розрахунковий і фактичний режими роботи високонапірного двоступінчастого зумпфового апарата при відкачуванні освітленої води із зумпфа скіпового стовбура гор.1146 м шахти ім.Ф.Е. Дзержинського ДП «Дзержинськвугілля»



роботи (відносні погрішності виміру параметрів:  $Q = \pm 1,12\%$ ;  $P_p = \pm 0,4\%$ ;  $P_{II} = \pm 0,4\%$ ;  $\eta = \pm 1,72\%$ ).

На рис. 4 представлені: розрахункові напірні характеристики, 1 і 2, нижнього і верхнього ступенів апарата; характеристики їх напірних трубопроводів, 3 і 4; наведена напірна характеристика 5 другого (верхнього) ступеня апарата, що відображує вплив статичного підпору при її всмоктуванні, що створюється за допомогою нижнього ступеня: експериментально встановлені напірна характеристика апарата 6 і фактичний режим його роботи –  $Q_{вст} = 24 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

З отриманих результатів досліджень виходить, що значення відносних відхилень основних розрахункових параметрів установки (подачі  $Q_{BC}$  і  $\eta_{вст}$ ) від експериментальних ( $Q_{BC} = 69,3 \text{ м}^3/\text{ч}$  і  $\eta_{вст} = 0,205$ ) не перевищує 8%, що підтверджує адекватність результатів теоретичних досліджень. Таким чином, порівняння результатів теоретичних і експериментальних (виробничих) даних дозволило підтвердити:

- задовільну збіжність розрахункових параметрів режимів роботи ЗВА з експериментально-виробничими даними їх вимірів;
- теоретично встановлену можливість підвищення експлуатаційного  $\eta_{вст}$  двоступінчастого зумпфого апарата не менш ніж в 2 рази (при  $L_{II} = 201 \text{ м}$ ) в порівнянні з одноступінчастою його схемою, при одночасному зниженні необхідного напору  $H_p$  не менш ніж у 1,5 рази.

Середнє добове напрацювання розробленої установки складає до 20 годин. Нижні ступені робочої і резервної установки значну частину часу експлуатації функціонували в умовах розвинених завалів, висота яких досягала  $2 \div 2,5 \text{ м}$  і більше (по відношенню до відмітки установки зрізів сопел нижніх ступенів). Максимальна висота всмоктування нижнього ступеня в окремі періоди досягала  $6,5 \div 7 \text{ м}$ . За даними шахти за два з половиною роки експлуатації установкою була видана маса твердого у обсязі більше  $1800 \div 2000 \text{ м}^3$ . Середня об'ємна концентрація твердого у відкачуваній гідросуміші –  $0,05 \div 0,1$ , а в моменти їх роботи під завалами –  $0,2 \div 0,25$ .

Подальшим розвитком роботи стало створення насосно-гідроелеваторної установки для очищення і відкачування зумпфа скіпового ствола на гор. 995 м шахти «Жовтневий рудник» ДП «ДВЕК». В даному випадку максимальна висота нагнітання склала на 26 м менше, ніж у разі відкачування зумпфа скіпового ствола на шахті ім. Ф.Е.Дзержинського. Одночасно ж довжина гілок пульповоду – у 1,28...1,6 рази більше. Крім того, при проектуванні певну складність створило те, що внутрішній діаметр вертикальної ділянки пульповоду не міг бути прийнятий більше 150 мм з-за значного захаращування устаткуванням поперечного перерізу зумпфа. Внаслідок цього встановлена експериментальна величина  $\eta_{вст}$  помітно знизилася – до  $\eta_{вст} = 0,17$ .

Але навіть в цьому випадку значення  $\eta_{вст}$  перевищує не менш ніж у 1,5 рази ККД зумпфових одноступінчастих апаратів, що відповідає рівню не більше 0,11. Таким чином підтверджено **третє наукове положення**.

Як і у разі використання зумпфової насосно-гідроелеваторної установки, на шахті ім. Ф.Е.Дзержинського, на шахті «Жовтневий рудник» вдалося вирішити важливі практичні завдання роботи, що стоять перед підприємством, по налагодженню скіпового підйому. Це, у свою чергу, дало можливість інтенсивного розвитку робіт по видобутку вугілля на гор. 995 м. Відповідно до даних фахівців шахти економічний ефект від впровадження установки складає не менше 1 млн.грн. на рік.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій дано рішення актуальної наукової задачі щодо встановлення закономірностей формування технологічних напірних і енергетичних, а також витратно-кавітаційних характеристик високонапірних ЗВА, з урахуванням впливу виду і величини напору (підпору) при всмоктуванні, що дозволило обґрунтувати область раціональних параметрів режимів їх роботи і принципи технологічного проектування ЗНГУ з високонапірними ЗВА.

Основні висновки, теоретичні і практичні результати роботи :

1. Зумпфовий водовідлив шахт України характеризується високою трудомісткістю робіт, низькою надійністю устаткування, що використовується, підвищеною небезпекою виникнення важких аварійних ситуацій. Цим обумовлюється необхідність перегляду існуючої технології очищення і відкачування зумпфів. Найважливішими вимогами до нової або вдосконаленої, технології є забезпечення ефективного, безпечного, безлюдного або близького до нього, очищення і відкачування зумпфів, що найбільшою мірою стосується зумпфів підвищеної глибини, яка перевищує орієнтовно 50-70 м.

2. На основі введення поняття «технологічні характеристики і параметри» ЗВА і використання у якості початкового рівняння імпульсів отримані: розмірне енергетичне рівняння високонапірних ЗВА, що встановлює залежність їх напору від виду і величини підпору на вході в апарат; технологічні безрозмірні напірні характеристики апаратів, що відбивають вплив статичного, швидкісного і нульового підпору, розрідження при всмоктуванні; залежності балансового розподілу втрат в апараті при роботі його з підпором.

3. Встановлено, що варіант роботи ЗВА із статичним підпором забезпечує підвищення в порівнянні з традиційно рекомендованою схемою з швидкісним підпором як технологічного напору, так і ККД (у 1,1 рази при підпорі, що становить 10% напору робочої рідини) апарата, що обумовлено зниженням втрат енергії на зміщення потоків і в дифузорі.

4. Встановлені безрозмірна і частинні розмірні (визначувані величиною статичного напору при всмоктуванні ЗВА) витратно-кавітаційні характеристики ЗВА, і на цій основі обґрунтована узагальнена область раціональних, найбільш ефективних (по сукупності кавітаційного коефіцієнта подачі  $U_k$ , напору  $h$ , безрозмірного тиску  $\bar{P}_k$  і ККД –  $\eta_A$ ), параметрів режимів роботи високонапірних апаратів, що відповідає приоптимальній і передоптимальній їх зоні за умов:  $U_k \geq 0,85$ ;  $h \leq 0,27$ ;  $\eta_A = 0,28 \dots 0,3$ ;  $\bar{P}_k \leq 50$ .

5. Обґрунтований аналітичний метод розрахунку і вибору параметрів режимів роботи ЗНГУ, оснащених як одно-, так і двоступінчастими схемами високонапірних ЗВА, в основу якого покладено використання вперше встановлених аналітичної, «еквівалентної», напірної характеристик ступенів ЗВА (представлених як функція сумарної подачі апарата); області раціональних відносних гідравлічних і геометричних параметрів високонапірних ЗВА; залежності ККД двоступінчастого ЗВА від відносних параметрів режимів його роботи.

Метод забезпечує виконання досліджень (шляхом чисельних експериментів) впливу всіх основних параметрів установки (наприклад, глибини зумпфа, діаметрів і довжини робочих і напірних трубопроводів, відносних гідравлічних і геометричних параметрів ступенів ЗВА) на робочі характеристики і параметри режимів роботи ЗНГУ і дає можливість здійснювати на цій основі вибір найбільш прийнятної їх сукупності на задані умови експлуатації без виконання або з мінімізацією фізичних експериментів.

6. Вперше теоретично доведено і експериментально, на основі інструментальних вимірів параметрів режимів роботи впроваджених в промисловість трьох ЗНГУ з трьома двоступінчастими і одноступінчастим ЗВА (в умовах діючих зумпфів глибиною 95 і 110 м) підтверджено (розбіжність порівнюваних параметрів: за напором - не більше 1 %, за подачею - не більше 2,5 %, за ККД апаратів - не більше 8 %), що при нульовому (чи близькому до нього) підпорі на вході в апарати двоступінчастий ЗВА перевищує за експлуатаційним ККД одноступінчастий в 1,5...2,5 рази.

7. Вперше в практиці зумпфового водовідливу розроблені високонапірні (з натиском до 120 м) двоступінчаста і одноступінчаста схеми ЗВА. Результати роботи впроваджені:

- у вигляді двох двоступінчастих і одного одноступінчастого ЗВА - на зумпфовому водовідливні шахти ім. Ф.Е.Дзержинського ДП «Дзержинськвугілля» і одного двоступінчастого - на зумпфовій установці шахти «Жовтневий рудник» ДП «ДВЕК». До теперішнього часу вказані ЗВА знаходяться в експлуатації відповідно більше восьми і семи років. У обох випадках використання установок дозволило успішно вирішити важливі виробничі завдання - задіювати скіпові підйоми для забезпечення високопродуктивної видачі на поверхню вугілля, що видобувається, що, у свою чергу, дало можливість інтенсифікувати розвиток робіт по видобутку вугілля на відповідних горизонтах шахт;
- при підготовці СОУ 10.1.24183643.006:2007 "Водозбірники..".

8. Виконаний комплекс робіт створює реальні передумови для різкого підвищення ефективності стаціонарного зумпфового водовідливу при забезпеченні безлюдного, або близького до нього, відкачування і очищення зумпфів практично будь-якої глибини. До перспективної сфери застосування двоступінчастої схеми слід віднести також відкачування припливів води із стволів закритих шахт з висотою водопідйому орієнтовно до 150...200 м.

9. Впровадження і практичне використання високонапірних двоступінчастих ЗВА відповідно до даних фахівців шахти «Жовтневий рудник» ДП «ДВЕК» дало економічний ефект не менше 1 млн.грн. на рік .

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Антонов Э.И. Разработка и анализ сводной расходно-кавитационной характеристики насосно-струйных установок / Э.И.Антонов, А.Н. Галанин, К.В. Грядущий // Проблемы эксплуатации оборудования шахтных стационарных установок: Сб. научн. тр. НИИГМ им. М.М.Федорова. – Вып.99. – Донецк, 2004. – С. 75-82.
2. Антонов Э.И. Исследование влияния подпора на технологические характеристики водоструйных аппаратов / Э.И.Антонов, К.В.Грядущий // Проблемы эксплуатации оборудования шахтных стационарных установок: Сб. научн. тр. НИИГМ им. М.М.Федорова. – Вып. 100. – Донецк, 2006. – С. 201-215.
3. Антонов Э.И. Схемы зумпфовых установок с водоструйными аппаратами повышенного напора / Э.И.Антонов, К.В.Грядущий, А.Н. Галанин // Проблемы эксплуатации оборудования шахтных стационарных установок: Сб. научн. тр. НИИГМ им. М.М.Федорова. – Вып.101. – Донецк, 2007. – С. 217-227.
4. Антонов Э.И. Обобщенный анализ характеристик удельных энергозатрат насосов водоотлива и обоснование эксплуатации их с подпором / Э.И.Антонов, А.Н. Галанин, К.В.Грядущий // Проблемы эксплуатации оборудования шахтных стационарных установок: Сб. научн. тр. НИИГМ им. М.М.Федорова. – Вып. 102-103. – Донецк, 2008-2009. – С. 123-135.
5. Антонов Э.И. Влияние высоты всасывания водоструйных аппаратов на их подачу и КПД в условиях шахтных гидроустановок подпором / Э.И.Антонов, К.В.Грядущий // Проблемы эксплуатации оборудования шахтных стационарных установок: Сб. научн. тр. НИИГМ им. М.М.Федорова. – Вып.102-103. – Донецк, 2008-2009. – С. 136-150.
6. Грядущий К.В. Расчет режимов работы зумпфовой насосно-гидроэлеваторной установки / К.В. Грядущий // Проблемы эксплуатации оборудования шахтных стационарных установок: Сб. научн. тр. НИИГМ им. М.М.Федорова.– Вып.104-105. – Донецк, 2010-2011. – С. 315-325.
7. Антонов Э.И. Высоконапорные гидроэлеваторные установки для очистки зумпфов / Э.И.Антонов, Б.А.Грядущий, К.В.Грядущий и др. // Уголь Украины. – 2010. – №5. – К, 2010. – С. 12-15.
8. Антонов Э.И., Грядущий К.В. Расчет режимов работы зумпфовой насосно-гидроэлеваторной установки с двухступенчатым водоструйным аппаратом / Э.И.Антонов, К.В.Грядущий // Проблемы эксплуатации оборудования шахтных стационарных установок: Сб. научн. тр. НИИГМ им. М.М.Федорова. – Вып.106-107. – Донецк, 2012-2013. – С. 159-166.
9. Антонов Э.И., Грядущий К.В. Технологические параметры и баланс энергии зумпфовых водоструйных аппаратов в условиях работы их с подпором / Э.И.Антонов, К.В.Грядущий // Уголь. – 2014. – № 4. – М., 2014. – С. 38-40.
10. Грядущий К.В. Влияние подпора на всасе высоконапорных зумпфовых водоструйных аппаратов на их характеристики и параметры / К.В.Грядущий // Науковий вісник Національного Гірничого університету. – 2014. – №6(144). – Дніпропетровськ, 2014. – С. 74-80.
11. Антонов Э.И. Влияние высоты всасывания водоструйных аппаратов на их подачу и КПД в условиях шахтных гидроустановок / Э.И.Антонов, К.В.Грядущий, А.Н. Галанин // Проблемы эксплуатации оборудования шахтных стационарных установок: Материалы научн.-технич. конф., посв. 80-летию НИИГМ им. М.М.Федорова (25 декабря 2009, г. Донецк) /

- Научно-исследовательский институт горной механики им. М.М.Федорова. – Донецк: НИИГМ им. М.М.Федорова, 2009. – С. 164-170.
12. Антонов Э.И. Технологические параметры и баланс энергии зумпфовых водоструйных аппаратов в условиях работы их с подпором / Э.И.Антонов, К.В.Грядущий // Промышленная гидравлика и пневматика: Материалы XII междунар. научн.-технич. конф. АС ПГПП, посв. 90-летию ДонНТУ; (11-13 октября 2011, г. Донецк) / ДонНТУ. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – С. 13-23.
  13. Грядущий К.В. Автоматизированное рабочее место математика при расчетах режимов работы зумпфовой насосно-гидроэлеваторной установки / К.В.Грядущий // Современное состояние и направления развития информационных технологий: информационные технологии в горной промышленности: Материалы молодежн. научн.-практич. конф. (Донецк, 30 сентября – 1 октября 2013 г.) / Научно-исследовательский институт горной механики им. М.М.Федорова. – Донецк: НИИГМ им. М.М.Федорова, 2013. –С. 15-17.
  14. Грядущий К.В. Обоснование параметров шахтных зумпфовых насосно-гидроэлеваторных установок / К.В.Грядущий // Образование, наука, производство: Междунар. ежегодн. научн.-практич. конференция / Московский государственный индустриальный университет. – Вязьма: ФГБОУ ВПО «МГИУ», 2013. –С. 138-142.
  15. Водозбірники і зумпфи шахт: СОУ 10.1.24183643.000:2007. – К.: Мінвуглепром України, 2008. – 43 с.
  16. Патент на корисну модель №38361, Україна, МПК F04D 1300. Шахтна зумпфова двоступінчаста гідроелеваторна установка / Е.І.Антонов, Б.А.Грядущий, К.В.Грядущий; U200811638. Заявлено 29.09.2008. Опубл.12.01.2009. Бюл.№1.

**Особистий вклад автора в роботи, опубліковані в співавторстві:** [1] – постановка завдань дослідження, розробка варіанта зведеної характеристики витратної кавітації для зумпфових насосно-струминних установок; [2, 3, 4, 5, 11] – встановлення безрозмірних напірних характеристик апаратів при статичному, швидкісному і нульовому підпорах, аналіз впливу підпору на технологічні параметри високонапірних зумпфових водоструминних апаратів, побудова графіків, висновки; [7,9] – основна ідея, аналіз режимів роботи високонапірних гідроелеваторних установок, побудова схем; [8, 12] – обґрунтування аналітичного методу розрахунку режимів роботи зумпфових насосно-гідроелеваторних установок з високонапірним двоступінчастим водоструминним апаратом; [15] – розділ 8.2.6 «Очищення зумпфа з висотою водопідйому від 70 м до 140 м»; [16] – обґрунтування раціональної двоступінчастої схеми гідроелеваторної установки для найбільш ефективної її роботи при відкачуванні і очищенні глибоких зумпфів.

## АНОТАЦІЯ

**Грядущий К.В. Обґрунтування раціональних технологічних схем і параметрів шахтних зумпфових високонапірних насосно-гідроелеваторних установок.** – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.06 – «Гірничі машини». – Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України. – Покровськ, 2017.

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій дано рішення актуальної наукової задачі щодо встановлення закономірностей формування

технологічних напірних і енергетичних, а також витратно-кавітаційних характеристик високонапірних ЗВА з урахуванням впливу вигляду і величини тиску (підпору) на всмоктуванні, що дозволили обґрунтувати область раціональних параметрів режимів їх роботи і принципи технологічного проектування ЗНГУ з високонапірними ЗВА.

У дисертаційній роботі розроблений і представлений аналітичний метод розрахунку режимів роботи насосно-струминних установок, в якому вперше «нормальна» напірна характеристика водоструминного апарата (гідроелеватора) була представлена у вигляді, аналогічній характеристикам насосів водовідливу.

На основі теоретичних досліджень були розраховані параметри ЗНГУ для реальних експлуатаційних умов, на підставі яких визначені і проаналізовані режими роботи і КПД високонапірного двоступінчастого ЗВА. За одержаними результатами були розроблені робочі проекти установок, що призначені для очищення і відкачування діючих зумпфів скіпових стовбурів.

У роботі отримали подальший розвиток ідеї в області розрахунку і проектування зумпфових насосно-гідроелеваторних установок, включаючи розробку методики розрахунку таких установок.

**Ключові слова:** шахта, зумпф, технологічні схеми, високонапірні насосно-гідроелеваторні установки, водоструминні апарати, витратно-кавітаційна характеристика, підпір, безрозмірні характеристики.

## АННОТАЦІЯ

**Грядущий К.В. Обоснование рациональных технологических схем и параметров шахтных зумпфовых высоконапорных насосно-гидроелеваторных установок.** – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.06 – «Горные машины». – Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет» Министерства образования и науки Украины. – Покровск, 2017.

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой дано решение актуальной научной задачи установления закономерностей формирования технологических напорных и энергетических, а также расходно-кавитационных характеристик высоконапорных ЗВА с учетом влияния вида и величины напора (подпора) на всасе, позволивших обосновать область рациональных параметров режимов их работы и принципы технологического проектирования ЗНГУ с высоконапорными ЗВА.

На основании анализа состояния зумпфowego водоотлива шахт Украины установлена необходимость разработки усовершенствованной, эффективной, безопасной, безлюдной (или близкой к ней) технологии очистки и откачки зумпфов особо повышенной глубины (более 50-70 м), а также ее научного обоснования.

В диссертационной работе разработан и представлен эффективный аналитический метод расчета режимов работы насосно-струйных установок, обеспечивающий возможность исследования и выбора наиболее эффективной совокупности рабочих параметров зумпфовых водоотливов (подачи, напора, КПД), с учетом конкретных (заданных) технологических их особенностей, в котором впервые «нормальная» напорная характеристика водоструйного апарата (гидроелеватора) была представлена в аналитическом виде, аналігічній характеристикам насосам водоотлива.

На основе теоретических исследований были рассчитаны параметры ЗНГУ для реальных эксплуатационных условий, на основании которых определены и проанализированы режимы работы и КПД высоконапорного двухступенчатого ЗВА. По полученным результатам были разработаны рабочие проекты установок, предназначенных для очистки и откачки зумпфов скиповых стволов шахт им. Ф.Э.Дзержинского ГП «Дзержинскуголь» (гор.1146м) и «Октябрьский рудник» ГП «ДУЭК» (гор. 995м). Установки были изготовлены, смонтированы и введены в эксплуатацию в 2007 и 2008 годах (на сегодняшний день установки отработали более семи лет).

Расхождение результатов теоретических и экспериментальных (производственных) исследований характеристик и режимов работы ЗНГУ, оснащенных высоконапорными двухступенчатыми ЗВА: по напору – не более 1 %, по подаче – не более 2,5 %, по КПД аппаратов – не более 8 %.

Экономический эффект от внедрения установки составляет не менее 1 млн.грн. в год.

В работе получили дальнейшее развитие идеи в области расчета и проектирования зумпфовых насосно-гидроэлеваторных установок, включая разработку методики расчета таких установок.

**Ключевые слова:** шахта, зумпф, технологические схемы, высоконапорные насосно-гидроэлеваторные установки, водоструйные аппараты, расходно-кавитационная характеристика, подпор, безразмерные характеристики.

## ANNOTATION

**Griadushchiy K.V. The ground of rational technological schemes and parameters of mine sump high-pressure pump-stream units.** – Manuscript.

The dissertation for candidate of technical sciences degree in speciality 05.05.06. – «Mining machinery». – State higher education establishment «Donetsk national technical university» of Ministry of science and education of Ukraine. – Pokrovsk, 201 .

The thesis deals with actual scientific problem of justification and implementation of rational technological schemes and parameters of mine ZNGU, creating a high-pressure SWA, using their new two-steps technological scheme, improving profitability and ensuring high efficiency, as well as mainly uninhabited pumping and treatment of mine sumps of practically any depth.

The thesis is developed and presented an analytical method for calculating the modes of pump-jet units, in which the first «normal» pressure head characteristic of pressurized water jet machine ( hydraulic elevator ) presented in the form similar to the characteristics of dewatering pumps.

Based on theoretical studies the parameters of ZNGU for actual operating conditions have been calculated under which modes and the operational efficiency of high-pressure two-step SWA have been identified and analyzed. According to the acquired results, working drafts of apparatus for cleaning and pumping of existing sumps skip shafts have been developed.

The thesis further develops the ideas in the field of calculation and design of sump pump-jet hydro elevating units, including development of calculating methodology for such apparatus.

**Key words:** mine, sump, technological schemes, high-pressure pump-stream unit, water-jet apparatus, consumption-cavitational characteristic, head, dimensionless characteristics.

---

Підписано до друку 30.082017. Формат 60x84 1/16.  
Папір офсетний. Комп'ютерний набір. Друк офсетний.  
Умовних авт. аркушів 0,85. Тираж 150 пр. Зам. № 15.  
Надруковано у Філії ПАТ «Науково-дослідний інститут  
гірничої механіки ім. М.М. Федорова» в м. Києві.  
04112, м. Київ, вул. Дегтярівська, 48

---