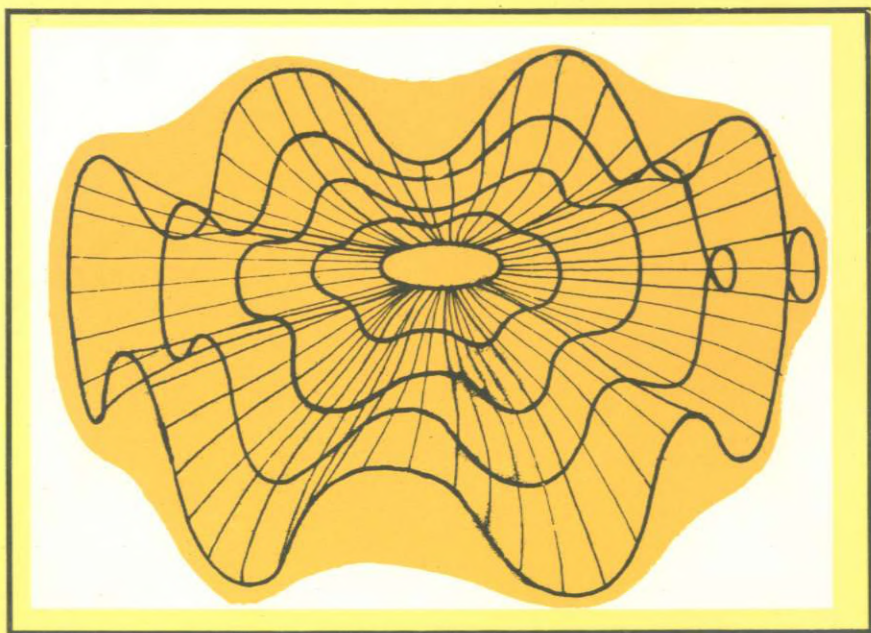


# ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ ТА ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА

2010

*ВИПУСК* 86





**Міністерство освіти та науки України**  
Ministry of Education and Science of Ukraine  
**Українська асоціація з прикладної геометрії**  
Ukrainian Association of Applied Geometry  
**Київський національний університет**  
будівництва і архітектури  
Kiev National University of Building and Architecture

## **ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ ТА ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА**

## **APPLIED GEOMETRY AND GRAPHICS**

**(С П Е Ц В И П У С К)**

Міжвідомчий науково-технічний збірник

The Interdepartmental Collection of Proceedings

Випуск № 86      Issue No 86

КИЇВ 2010 KYIV



**УКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ  
З ПРИКЛАДНОЇ ГЕОМЕТРІЇ**



**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ  
ПРИРОДООХОРОННОГО ТА  
КУРОРТНОГО БУДІВНИЦТВА**



**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

**ДОПОВІДІ СЬОМОЇ МІЖНАРОДНОЇ  
КРИМСЬКОЇ  
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

*«ГЕОМЕТРИЧНЕ ПЛА КОМП'ЮТЕРНЕ  
МОДЕЛЮВАННЯ:  
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕКОЛОГІЯ,  
ДИЗАЙН»*



27 вересня – 1 жовтня 2010 р.

УКРАЇНА, АР КРИМ, м. СІМФЕРОПОЛЬ

**Міжвідомчий науково-технічний збірник “Прикладна геометрія та інженерна графіка”. Випуск 86. Відповідальний редактор В.Є. Михайленко. – К.: КНУБА, 2010р. – 450с.**

*UKR* В збірник включені дослідження кривих ліній та поверхонь, способів їх формоутворення, апроксимації, зображення та практичного застосування. Ряд статей присвячено питанням теорії зображень, геометричному моделюванню об'єктів, процесів та явищ, проблемам комп'ютерної графіки, геометричним питанням САПР, деяким питанням технічної естетики. Розрахований на працівників науково-дослідних і проектних організацій, викладачів, аспірантів та докторантів

*RUS* В сборник включены исследования кривых линий и поверхностей, способов их формообразования, аппроксимации, изображения и практических приложений. Ряд статей посвящен вопросам теории изображений, геометрическому изображению объектов, процессов и явлений, проблемам компьютерной графики, геометрическим вопросам САПР, некоторым вопросам технической эстетики. Рассчитан на работников научно-исследовательских и проектных организаций, преподавателей, аспирантов и докторантов.

*ENG* Articles is devoted to the investigation of curve lines, surfaces, ways of shape forming, approximation, imaging and its practical applications are included in the collection. A number of articles are devoted to questions of the theory of images, geometrical imaging of objects, processes and phenomena, problems of the Computer Graphics, geometrical questions of CAD, some questions of an Industrial Art.

Collection is intended for researchers, designers, high school teachers, post-graduate students etc.

**Федоркін С. І. – голова**  
**Дворецький О. Т. – заст. голови**  
**Плоский В. О. – заст. Голови**  
**Михайленко В. Є. – співголова**  
**Підгорний О. Л. – співголова**  
**Сазонов К. О. – співголова**  
**Бондар О.А.**  
**Ванін В.В.**  
**Ільичов В.А.**  
**Ковальов С.М.**  
**Ковальов Ю.Н.**  
**Колчунов В.І.**

**Кузнєцова І.А.**  
**Комяк В.М.**  
**Корчинський В.М.**  
**Куненко Л.М.**  
**Пилипака С.Ф.**  
**Пугачов Є.В.**  
**Сергейчук О.В.**  
**Скидан І.А.**  
**Тормосов Ю.М.**  
**Хомченко А.Н.**  
**Шоман О.В.**  
**Яковлев М.І.**

**Адреса редколегії спецвипуску:** Виконавча дирекція Української асоціації з прикладної геометрії, к. 422, Повітрофлотський проспект, 31, 03680, Київ, Україна, телефон редакції: 241-54-32, [geometry\\_kyiv@ukr.net](mailto:geometry_kyiv@ukr.net)

Випуск рекомендовано до друку Президією УАІГ, протокол № 57 від 20. 09. 2010року.

**Наукове фахове видання**

## ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ:



**Координатор:** Всеукраинская общественная организация «Украинская ассоциация по прикладной геометрии» (УАПГ)



**Принимающая организация:** Национальная академия природоохранного и курортного строительства (НАПКС)

**Координатор:** Всеукраинская общественная организация «Украинская ассоциация по прикладной геометрии» (УАПГ)

**Принимающая организация:** Национальная академия природоохранного и курортного строительства (НАПКС)

### **Председатель конференции:**

**Федоркин С.И.**, ректор НАПКС, Симферополь

### **Заместители председателей:**

**Дворецкий А.Т.**, НАПКС, Симферополь

**Плоский В.А.**, КНУСА, Киев

### **Сопредседатели конференции:**

**Михайленко В.Е.**, КНУСА, Киев **Подгорный А.Л.**, КНУСА, Киев

**Сазонов К.А.**, КНУТД, Киев

### **Научный комитет:**

**Бондарь Е.А.**

**Ванин В.В.**

**Ильичёв В.А.**

**Ковалёв С.Н.**

**Ковалёв Ю.Н.**

**Колчунов В.И.**

**Комяк В.М.**

**Корчинский В.М.**

**Кузнецова И.А.**

**Куценко Л.Н.**

**Пилипака С.Ф.**

**Пугачёв Е.В.**

**Сергейчук О.В.**

**Скидан И.А.**

**Тормосов Ю.М.**

**Хомченко А.Н.**

**Шомап О.В.**

**Яковлев Н.И.**

<i>Башта О.Т., Джурік О.В., Ланецький В.Г., Романенко В.Г., Сивашенко Т.І.</i>	296
ОПТИМАЛЬНІ ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ КАВІТАЦІЙНИХ ДРОСЕЛЬНИХ ПРИБОРІВ	
<i>Гермаш К. М.</i>	304
ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ДВОВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ AUTOCAD ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПОЗИЦІЙНИХ ТА МЕТРИЧНИХ ЗАДАЧ НАРИСНОЇ ГЕОМЕТРІЇ	
<i>Воскресенская С. Н.</i>	311
ПРИМЕНЕНИЕ ЛИНЗ, СОЗДАНЫХ НА ОСНОВЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ, ДЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФОТОЭЛЕМЕНТАХ	
<i>Пустюльга С.І., Самостян В.Р., Хомич А.</i>	316
ДИСКРЕТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗРІВНОВАЖЕНИХ СІТОК ЧИСЛОВИМИ ПОСЛІДОВНОСТЯМИ З НЕЛІНІЙНИМИ ФУНКЦІЯМИ ЗМІЩЕННЯ	
<i>Погорельий Д.Ф., Малинский С.М.</i>	321
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОЦЕССОВ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ОБОЛОЧЕК	
<i>Бурчак І.Н., Ройко О.Ю.</i>	325
ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМОУТВОРЮЮЧОГО ПАРАМЕТРУ ЗРІВНОВАЖЕНИХ СІТОК ЧЕРЕЗ ВІДПОВІДНІ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНІ ОПЕРАТОРИ	
<i>Кормановський С.І., Скорюкова Я.Г., Мельник О.П., Богута Д. Г.</i>	330
КОМП'ЮТЕРНО-ОРІЄНТОВАНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ТА ПЛОЩІ БІЧНОЇ ПОВЕРХНІ ПРОСТОРОВИХ ФІГУР	
<i>Карпенко В. А.</i>	335
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО СПЛАЙНА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СОСТАВНЫХ КРИВЫХ КЛАССА ГЛАДКОСТИ <sup>с2</sup>	
<i>Реута О. В.</i>	340
РЕДИСКРЕТИЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ТРИВИМІРНИХ ОБ'ЄКТІВ В ЗАДАЧАХ ОБ'ЄМНОЇ ГРАФІКИ	
<i>Воронцов О.В.</i>	345
ВЛАСТИВОСТІ СУПЕРПОЗИЦІЙ ТОЧКОВИХ МНОЖИН	
<i>Шевченко Ю.І.</i>	350
МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ І ФУНКЦІОНУВАННЯ ДОМОБУДІВНИХ СИСТЕМ (ДБС)	
<i>Нечипоренко О.Ю.</i>	355
КЛАСИФІКАЦІЯ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ	
<i>Дихтярь Т.В., Боровский Б.И., Зайцев О.И.</i>	360
МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ТЕЧЕНИЯ В АЭРОТЕНКЕ ПРИ ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОМ АЭРИРОВАНИИ	
<i>Бойченко О.С.</i>	365
ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗАЛЕЖНОСТІ РЕСУРСІВ В БУДІВЕЛЬНИХ КОШТОРИСНИХ НОРМАХ	

## ОПТИМАЛЬНІ ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ КАВІТАЦІЙНИХ ДРОСЕЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

*Національний авіаційний університет*

**Анотація** – в роботі представлені результати експериментального дослідження по визначенню оптимальних геометричних параметрів дросельних пристроїв при кавітації.

**Ключові слова** – кавітація, гідропривід, дросельні пристрої, діафрагма, циліндричний насадок, насадок конфузorno-дифузornoного типу, оптимальні геометричні параметри.

**Постановка проблеми.** Дросельні пристрої є найпоширенішими складовими елементами будь-якої рідинної системи. Вони використовуються для регулювання тиску та витрат робочої рідини. В гідроприводі, зокрема в авіаційному, найбільшого поширення набули наступні дросельні пристрої: діафрагми, циліндричні насадки, конфузorno-дифузornoні насадки, клапани з конусним затвором, клапани з плоским затвором, насадки Борда, раптове звуження. Дросельні пристрої у рідинних системах, як правило, функціонують у безкавітаційному режимі, так як явище кавітації є для них небажаним. Кавітація погіршує їх характеристики та веде до зниження швидкодії та точності функціонування гідравлічних пристроїв [1]. Вона здатна погіршувати службові характеристики робочих рідин, викликати ерозію та втомлювальний знос конструктивних елементів рідинних систем [1,2].

Кавітація – це явище так званого холодного кипіння рідини. Холодним його називають тому, що рідина починає кипіти при зниженні тиску в ній до значень, які відповідають тиску насичених парів. Сам процес кипіння представляє собою утворення в рідині парогазових бульбашок, які називають кавернами. Вони виникають у місцях розриву суцільності потоку рідини внаслідок великих розтягуючих напружень, обумовлених високою швидкістю рідини та дуже малим статичним тиском. В локальній кавітаційній зоні низького тиску таких каверн виникає дуже багато, і потік рідини стає двофазним. При попаданні каверн у зону підвищеного тиску проходить їх схлопування. Колапс каверн супроводжується мікрокумулятивними струменями рідини та високими локальними тисками, підвищенням температури рідини, коливанням тиску за кавітаційною зоною, ультразвуковим та люмінесцентним випромінюваннями.

Кавітаційні ефекти поряд з негативними наслідками у рідинних системах широко застосовують у різних технологічних операціях: змішування рідин, очищення поверхонь, гомогенізація рідин, промивка трубопроводів та корпусних деталей, випробування гідравлічного обладнання. В літако- та ракетобудуванні

кавітаційні пристрої використовують як регулятори подачі палива, обмежувач витрат, запобіжні, переливні та узгоджувальні клапани. В технологічному обладнанні пристрої для створення гідродинамічної кавітації називають кавітаторами. Вони, в залежності від задач, які вирішуються, можуть бути різної конструкції. При високонапірній кавітації у більшості випадків у якості кавітаційних дроселів застосовують конфузорно-дифузорний насадок, циліндричний насадок або діафрагму. Розвиток кавітації у кавітаційних пристроях залежить від багатьох факторів, а саме: тиску на вході і на виході пристрою, фізичних властивостей рідини, кількості розчиненого в ній повітря або інших газів, вмісту забруднення, геометричних параметрів проточної частини кавітатора та інших.

*Аналіз останніх досліджень.* Явище кавітації досліджують в багатьох країнах світу, і в першу чергу, в розвинених. Це пов'язано з тим, що кавітацію стали дуже широко застосовувати в різноманітних галузях, особливо в хімічній та харчовій промисловості. У військово-морській техніці досі не вирішена проблема обмеження швидкості кораблів через кавітацію гребних гвинтів, а для підводних човнів ведеться активна робота по усуненню кавітаційних шумів. Дослідження явища кавітації є перспективним так як воно в майбутньому може бути одним з інструментів застосування нанотехнологій у рідинних середовищах.

*Формулювання цілі статті.* Визначити оптимальні геометричні параметри для кавітаційних дроселів, що застосовуються для утворення високонапірних кавітаційних потоків рідини.

*Основна частина.* Дослідження оптимальної геометрії кавітаційних дроселів проводилося на спеціальному гідравлічному стенді. Значення тиску в магістралі нагнітання змінювалася в межах від 3 до 140 атмосфер, а значення чисел Рейнольдса від 2650 до 52800. В якості робочої рідини застосовувалися мастила МС-20, АМГ-10 та авіакеросин ТС-1. Схеми дросельних пристроїв представлені на рис. 1. При дослідженні діафрагми діаметр її отвору  $d$  варіювався від 1,2 до 3 мм. Діаметри трубопроводу перед і за діафрагмою  $D_1$  і  $D_2$ , відповідно, змінювалися від 3 до 180 мм. Степінь розширення потоку

$$m = (d/D_2)^2$$

змінювався в межах від 0,01 до 1,0, а степінь звуження потоку

$$n = (d/D_1)^2$$

змінювався в межах від 0,08 до 1,0.

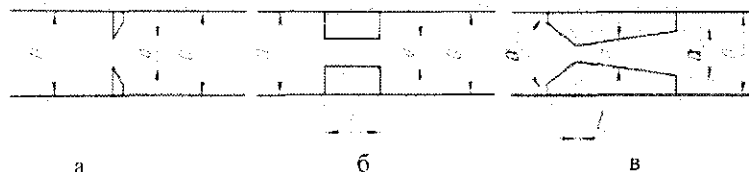


Рис.1. Схеми зразків дроселей для дослідження кавітаційних характеристик: а – діафрагма; б – циліндричний насадок; в – насадок конфузорно-дифузорного типу;



При дослідженні циліндричного насадку геометричні розміри варіювалися наступним чином:

$d = 0,4 - 3,0$  мм;  $D_1, D_2 = 3,0 - 8,0$  мм;  $m, n = 0,04 - 1,0$ ;  $l = 1,0 - 60$  мм, де  $l$  довжина дроселя.

Для насадку конфузорно-дифузорного типу досліджувалися наступні геометричні розміри:

$d = 1,0 - 3,0$  мм;  $l = 10 - 50$  мм;  $D = 8,0 - 18,0$  мм; кут конфузора варіювався від 25 до 90 градусів, а кут дифузора від 3 до 15 градусів.

Критичний протитиск та критичний перепад тиску, при якому спостерігався режим розвинутої кавітації визначався по стабілізації витрат через дросельні пристрій (див. рис. 2). Для зручності результати проливок представлені у вигляді безрозмірних параметрів. По вимірному значенню критичного протитиску будувалися кавітаційні характеристики для кожного з дросельних пристроїв. Кавітаційна характеристика для дроселя з певними геометричними параметрами це залежність витрат від тиску  $Q = f(p)$ . Горизонтальна лінія кожної представлених характеристик вказує на кавітаційний режим витікання рідини дроселя.

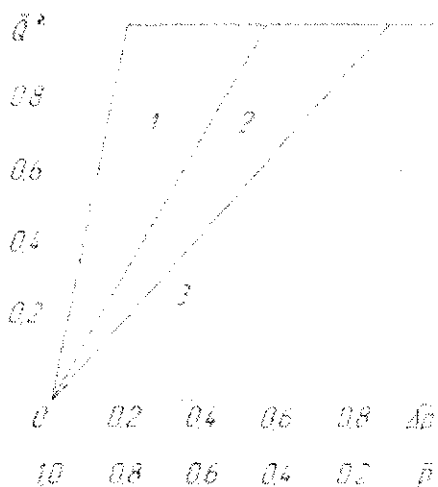


Рис.2. Кавітаційні характеристики витіку рідини АМГ-10 через дросельні пристрій:

1 – насадку конфузорно-дифузорного типу; 2- циліндричний насадку; 3 – діафрагма;

Дослідження діафрагм проводилось при встановленні їх в трубу незмінного діаметру та на вході в трубу з ємкості значних розмірів. В першому випадку вимірювання тиску проводилось на відстані  $10d, 20d$  і  $30d$ , а в другому – на

відстані 15 мм. Зразки діафрагм виготовлені з бронзи Бр.АЖМц10-3-1,5. Результати проливок представлено на рис.3 і рис.4. Вони показали, що зі збільшенням ступеня розширення потоку за дроселем, схильність пристрою до кавітації спочатку зростає, а потім різко спадає. Це пояснюється зменшенням ступеня стиснення потоку і скороченням довжини кавітаційної зони при зменшенні різниці між діаметрами труби і отворів діафрагм. Критичний протитиск залежить не тільки від ступеня розширення, але й від відстані, на якій проводиться вимірювання тиску за діафрагмою (див. рис. 3). Зі збільшенням цієї відстані величина критичного протитиску зменшується. Це пояснюється впливом додаткових втрат по довжині трубопроводу. Таким чином, при визначенні критичного протитиску необхідно враховувати довжину каналу, на вході в який встановлена діафрагма.

Максимальне значення критичного протитиску за діафрагмою, встановленою на вході в трубу, менше ніж для діафрагми, що встановлена в трубу. Це можна пояснити впливом додаткових гідравлічних витрат в результаті більшого стиснення потоку на вході в діафрагму з емкості великих розмірів.

Таким чином, при дослідженні витікання рідини через діафрагму, встановленої в трубу, умови для виникнення кавітації є найбільш сприятливими, якщо степінь розширення потоку складає 0,82, а для діафрагм, що встановлені на вході в трубу – 0,712.

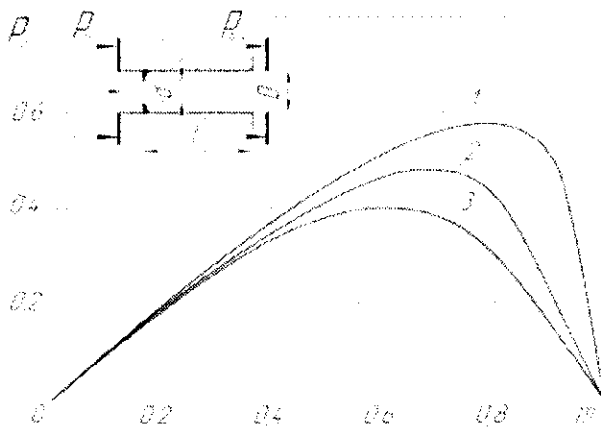


Рис.3. Залежність критичного протитиску від ступеня розширення потоку для діафрагм, які встановлені в трубі:

1 -  $a = 10d$ ; 2 -  $a = 20d$ ; 3 -  $a = 30d$ .

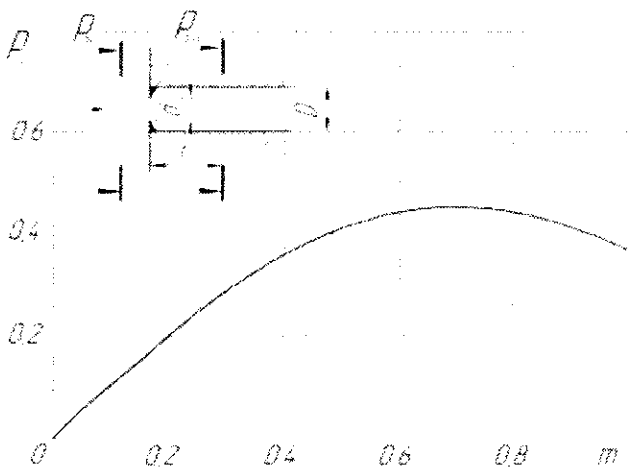


Рис.4. Залежність критичного протитиску від степені розширення потоку для діаграм, які встановлені на вході в трубу.

Проведені проливики циліндричних насадків, встановлених в трубу, дозволили встановити закономірність впливу їх довжини на початок кавітації. На рис. 5 представлено узагальнений графік зміни критичного протитиску в залежності від відносної довжини дросельного пристрою. Відносна довжина

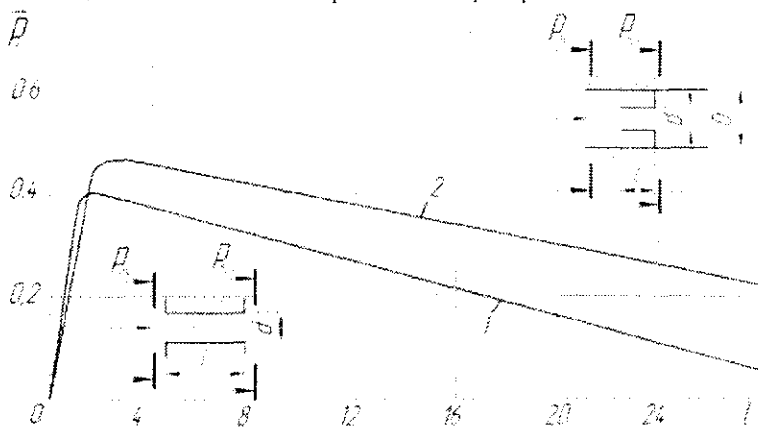


Рис.5. Залежність критичного протитиску від відносної довжини насадка: 1 – насадок Вентурі; 2- насадок Борда.

визначається як відношення довжини насадка до його діаметра. З графіка слідує, що найбільше значення критичного протитиску у циліндричних насадках складає 0,4 – 0,43, що відповідає відносній довжині, величина якої дорівнює 2 – 4

діаметрам дросельного отвору. Збільшення відносної довжини дросельного пристрою приводить до підвищення втрат тиску, а її зменшення – до скорочення довжини кавітаційної зони. Оптимальним значенням відносної довжини, що сприяє утворенню кавітації в циліндричному насадку є значення 2,62 d.

Зменшення стиснення потоку, а значить і зменшення критичного протитиску можна досягти за допомогою зкругленої фаски на вході в циліндричний насадок. Встановлено, що плавний вхід в дросельний канал дозволяє значно зменшити або виключити кавітаційний режим. Оптимальними геометричними параметрами фаски, при яких знижується початок кавітації є: кут конусу фаски 60 градусів, відносна довжина фаски 0,2 d.

Проливи насадків конфузорно-дифузорного типу різної геометрії проводилися з метою визначення найбільшого критичного протитиску, при якому наставав режим розвинутої кавітації. Результати проливок дозволяють встановити вплив кута конфузора на величину критичного протитиску насадка. Як слідує з графіка (рис. 6), зі збільшенням кута конфузора схильність до кавітації зростає, і при кутах 50-60 градусів критичний протитиск досягає величини 0,7 – 0,72 для мастила МС-20 і 0,82-0,85 для рідини АМГ-10.

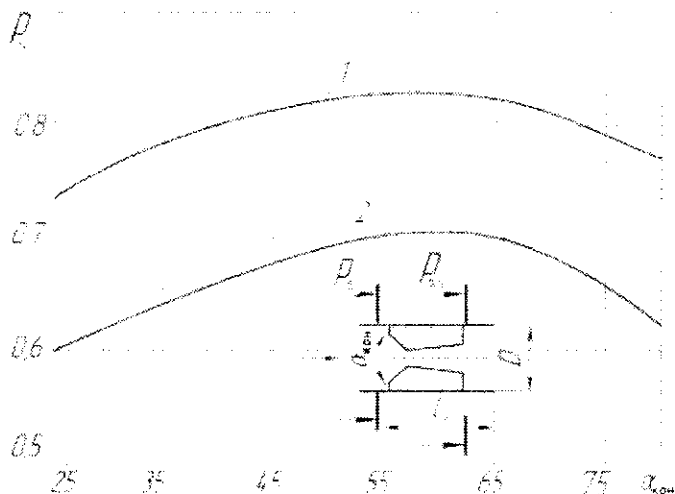


Рис.6. Залежність критичного протитиску від кута конфузора:

1 - рідина АМГ-10; 2 - мастило МС-20.

Подальше збільшення кута конфузора приводить до росту гідравлічного опору, що призводить до додаткових втрат енергії і зниженню величини критичного протитиску. Верхня крива відображає результати проливок на рідині АМГ-10, а нижня на мастилі МС-20. Крива критичних протитисків для рідини АМГ-10 розташована вище ніж для значень мастила МС-20. Розміщення кривої для мастила МС-20 нижче, ніж для рідини АМГ-10 обумовлено більшими

гідравлічними витратами при витіканні більш в'язкої рідини. На рис. 7 показано вплив довжини дифузора і циліндричної частини насадок на виникнення кавітації. Як слідує з графіків (крива 1), найбільшого значення критичний протитиск досягає при відносній довжині дифузора – 10–11 d.

Вплив довжини циліндричної частини насадок на величину критичного протитиску при проливках на рідині АМГ-10 характеризує крива 2.

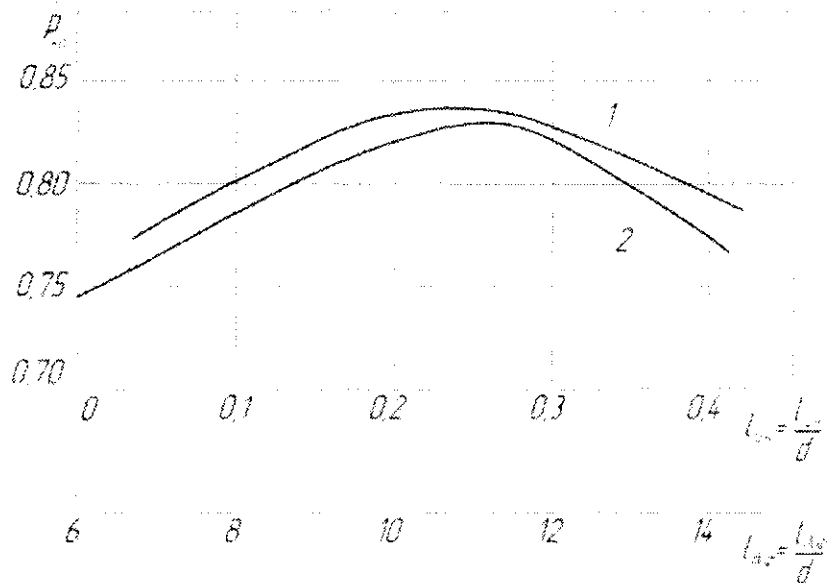


Рис. 7. Залежність критичного протитиску від довжини циліндричної частини і кута дифузора:

1 – відносна довжина дифузора; 2 – відносна довжина циліндричної частини.

Максимальне значення критичного протитиску отримано при відносній довжині циліндричної частини насадок 0,2 – 0,3 d. Вплив кута дифузора досліджено для насадків з різними діаметрами дросельного каналу. З графіків (рис. 8) слідує, що значний вплив на величину критичного протитиску при незмінному діаметрі труби здійснює діаметр дросельного отвору. Наприклад, у насадку з діаметром дросельного отвору 1,5 мм при довжині циліндричної частини 0,5 мм і куті дифузора 9 градусів (рис. 8, крива 2) критичний протитиск досягає значення 0,85 для рідини АМГ-10. Довжина цього насадка складає 21 мм.

Таким чином, оптимальна геометрія насадка конфузотно-дифузотного типу наступна: кут конфузора – 55 – 60 градусів, кут дифузора – 9 – 11 градусів, відносна довжина конфузора – 4 – 5 d, дифузора – 10 – 11 d, циліндричної частини – 0,2 – 0,25 d.

Циліндричні насадки та насадки конфузотно-дифузотного типу виготовлялися із дюралюмінію Д16.

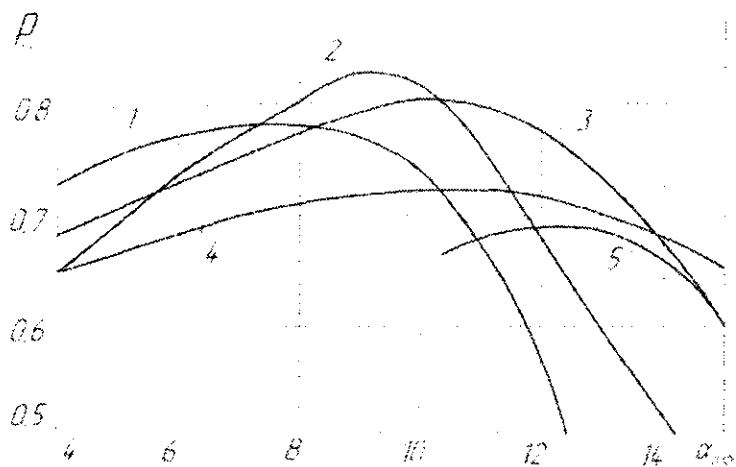


Рис.8. Залежність критичного протитиску від кута дифузора насадка конфузорно-дифузорного типу:

1 –  $\phi$  1,0 мм; 2 –  $\phi$  1,5 мм; 3 –  $\phi$  2,0 мм; 4 –  $\phi$  2,5 мм; 5 –  $\phi$  3,0 мм;

#### Висновки:

Визначені оптимальні геометричні параметри для діафрагм, циліндричних насадків і насадків конфузорно-дифузорного типу з максимальним діапазоном стабілізації витрат в залежності від протитиску. Порівнюючи їх кавітаційні характеристики та довжину кавітаційної зони при їх оптимальній геометрії, можна зазначити, що найбільш придатним для використання в кавітаційних пристроях, які використовують корисні ефекти кавітації, є насадок конфузорно-дифузорного типу та циліндричний насадок.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кавитация в жидкостных системах воздушных судов // М.М. Глазков, В.Г. Ланецкий, Н.Г. Макаренко и др. - К.:КНИГА. 1987. - 64 с.
2. Пирсол И. Кавитация. - М.: Мир, 1975. - 94 с.

#### Optimal geometrical parameters of cavitation throttle devices.

Bashta O.T., Dzhurik O.V., Romanenko V.H., Lanetskiy V.H., Sivashenko T.I.

#### Summary

The results of experimental research of identification of optimal geometric parameters of throttle devices when cavitation are presented.