

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ЛОКАЛЬНОЇ КАВІТАЦІЇ

Осаул О.І., Самсоненко І.М.

Запорізька державна інженерна академія

Волков Т.М.

«Укрпошта» м. Запоріжжя

Виконано порівнювальний аналіз механізму перетворення топографії гідравлічних процесів в чарунках Гріггса та запропонованих (запатентованих) в роботі. Встановлено закономірності впливу розміру чарунки (радіусу сфери) та її кута розкриття на швидкість, відцентрову силу виходу з чарунки об'єму води та на ступінь розрідження рідини в чарунці (тиску на дні чарунки). Результати, отримані з використанням математичного моделювання за програмою Solidworks Flow Simulation використані при розробці конструкцій робочих елементів роторних та трубних кавітаторів.

Ключові слова: кавітація, чарунка, тиск, швидкість, відцентрова сила.

Постановка проблеми. На першому етапі виконання досліджень впливу кавітації на стан стічної води при її знезараженні були отримані водночас тепловий ефект та позитивні зміни складу води та властивостей масел.

На другому етапі дослідницьких робіт передбачалось отримання безпосередніх результатів для побудови оптимального рельєфу робочих поверхонь елементів конструкцій ще дозволило використати їх для розробки більш економічних пристроїв. Проблема, що поставлена в даній роботі включала вирішення задач по визначенню оптимальних конструктивних параметрів рельєфу робочих поверхонь з використанням математичного порівняння аналізу програмою Solidworks у середовищі Flow Simulation.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Порівняння отриманих на першому етапі робіт результатів кавітування рідин (води) з відомими результатами на пристроях – прототипах свідчить про те, що потреба у визначенні оптимальних розмірів елементів рельєфу є наявною.

Наведені в роботах [1-3] дані свідчать про відсутність системного підходу до розрахунків елементів рельєфу робочих поверхонь кавітаторів, що і потребувало виконання наступних досліджень.

В той же час, в раніше виконаних роботах [4, 5] була реалізована ідея використання природних конструкцій рельєфу поверхонь, наприклад, структури поверхні шкіри акули. Цей приклад був започаткований з міркувань очікування помітного зниження гідравлічного опору за рахунок зниження тиску в локальних зонах – чарунках шкіри акули, яка як відомо [4], має високу (більше 60 км/год) швидкість серед інших істот морів та океанів. Такий показник швидкості обумовлений тим, що рельєф чарункової поверхні шкіри забезпечує утворення тонкого шару бульбашок (мікропухирців) у якому і рухається тіло акули, тобто рухається швидше інших істот з відносно гладкою шкірою за рахунок заміни тертя ковзання гладкої поверхні по воді на тертя качіння мікропухирців з чарунки по шару води що і забезпечує прискорений рух тіла акули.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є визначення основних факторів впливу на характеристики рідини (води) при використанні чарункових поверхонь, що формують кавітаційні прошарки в потоці рідини. Для дослідження мети було необхідно:

– визначити характер впливу розміру радіусу (R) чарунки та кута розкриття (α) чарунки на швидкість викиду (V , м/с) із чарунки об'єму води, на тиск, який діє на дно чарунки (P , ат), на енергію турбулентності (W , дж/кг);

– в'язкість води (ρ , г/см³);

– завихрення (n , 1/сек);

– розрахувати очікувані питомі витрати при викиді об'єму води з чарунок різного кута розкриття.

Об'єкт дослідження – локальні конструкції чарунок в пропонованих пристроях і пристроях – прототипах.

Виклад основного матеріалу. Матеріали і методи дослідження впливу розміру та кута розкриття чарунки на характеристики рідин, що кавітуються.

В дослідженнях використали конструкції робочих елементів з чарунковими поверхнями, що виконані з нержавіючої сталі. При транспортуванні на вході у кавітатор води використали математичні методи визначення вище наведених характеристик у програмі Solidworks. Вибір ряду кутів розкриття чарунки для запланованих досліджень був обумовлений технологічними можливостями при виготовленні зразків і їх використанні в кавітаційних пристроях.

Результати дослідження отримані при швидкості потоку води від 25 до 45 м/с. При цьому основна увага була приділена визначенню показників, які будуть використані при розробці кавітаторів.

Для математичного моделювання за допомогою Solidworks Flow Simulation прийняті: модель чарунки Гріггса (рис. 1), моделі, що розробляються з різними кутами розкриття (рис. 2 а, б, в).

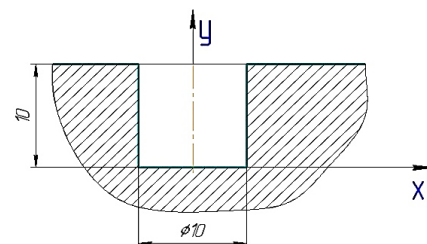


Рис. 1. Чарунка Гріггса

Результати. Для візуального спостереження і аналізу отримані топографічні зображення води,

що рухається в гладкій трубі, в трубі з чарунками Гріггса і з чарунками, які мають різні кути розкриття.

На рис. 3-7 представлені комп'ютерні інтерпретації п'яти найбільш цікавих показників, що

отримані в умовах використання п'яти видів каналів, через які транспортували воду з початковою швидкістю – 25 м/с, а саме:

- в гладкому каналі без перешкод;
- в каналі з трьома чарунками Гріггса;

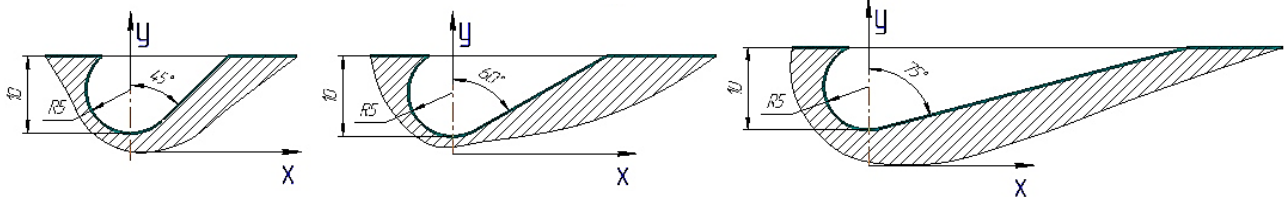


Рис. 2. Чарунки, що досліджувались

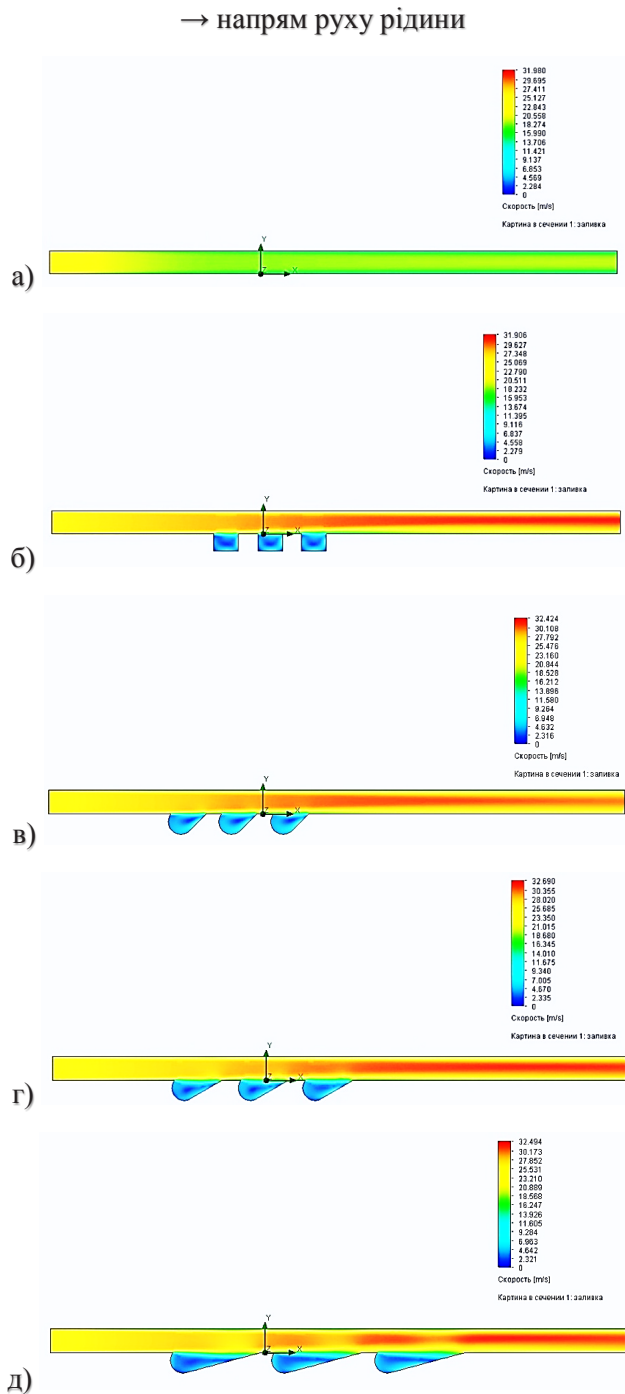


Рис. 3. Швидкість, V, м/с: а) гладкий канал; б) чарунка Гріггса; в) при $\alpha=45^\circ$; г) при $\alpha=60^\circ$; д) при $\alpha=75^\circ$

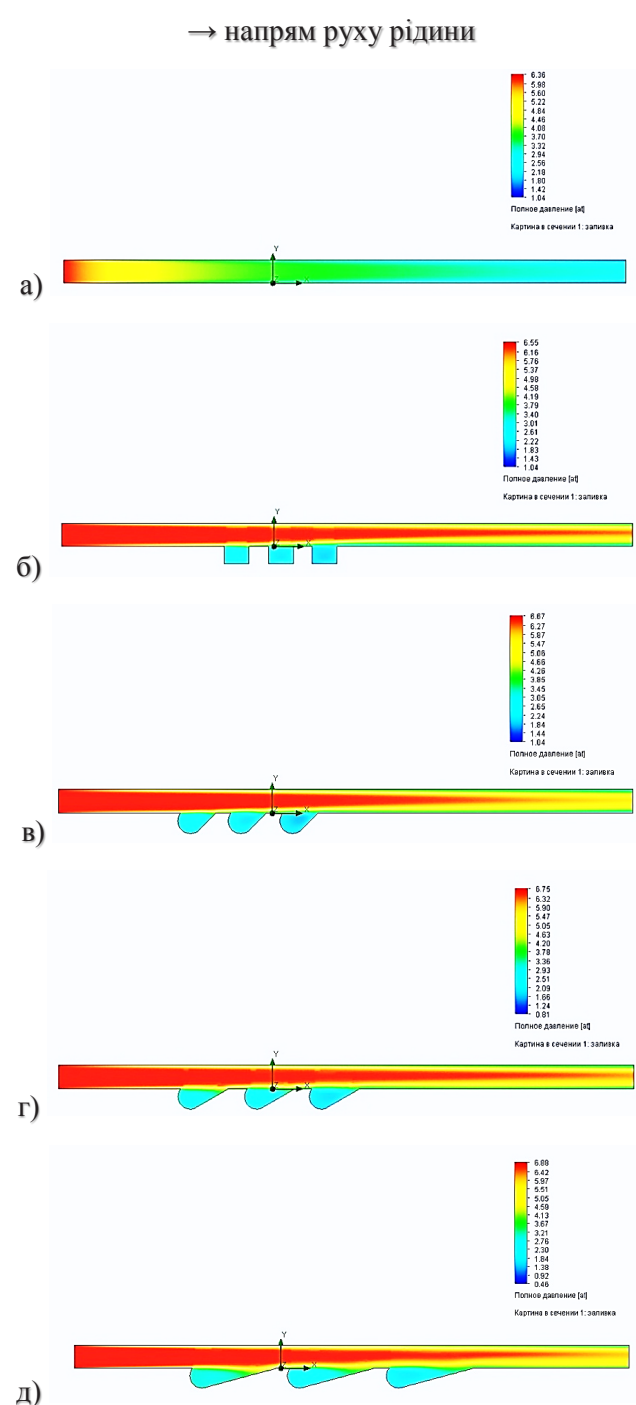


Рис. 4. Повний тиск P, атм: а) гладкий канал; б) чарунка Гріггса; в) при $\alpha=45^\circ$; г) при $\alpha=60^\circ$; д) при $\alpha=75^\circ$

– в каналі з дослідними, трьома типами чарунок, що мають різні кути розкриття ($\alpha=75^\circ$; $\alpha=60^\circ$; $\alpha=45^\circ$).

З точки зору практичного використання (в гідравлічних пристроях-трубопроводах або в системах ротор-статор) результатів дослідження впливу різних видів перешкод в гладкому каналі найбільш важливими були визначені: швидкість потоку води V , м/с; повний тиск P , атм., в чарунці і в щілині; енергія турбулентності W , Дж/кг, в потоці; густина води ρ , кг/м³, в системі чарунка-щілина; завихрення n , 1/сек в чарунках. Результати наведені у таблиці 1.

Отримані результати дозволили встановити закономірність впливу виду чарунки, кута

її розкриття (α) і розміру (R) на ступінь змін визначених показників. При цьому найбільш чутливими до збільшення кута розкриття чарунки було визначено пропорційне збільшення швидкості, енергії турбулентності, густини та завихрення при збільшенні кута розкриття чарунки. Відносно показників, отриманих в гладкій трубі збільшення практично усіх показників складало 20-60%, а відносно показників, отриманих при використанні чарунки Гріггса, переваги чарунок з кутом розкриття 75° були найбільшими (від 20 до 235%) тобто завихрення більше, ніж вдвічі.

Порівняльні дані показників наведені в таблиці 2 дали можливість використати їх при про-

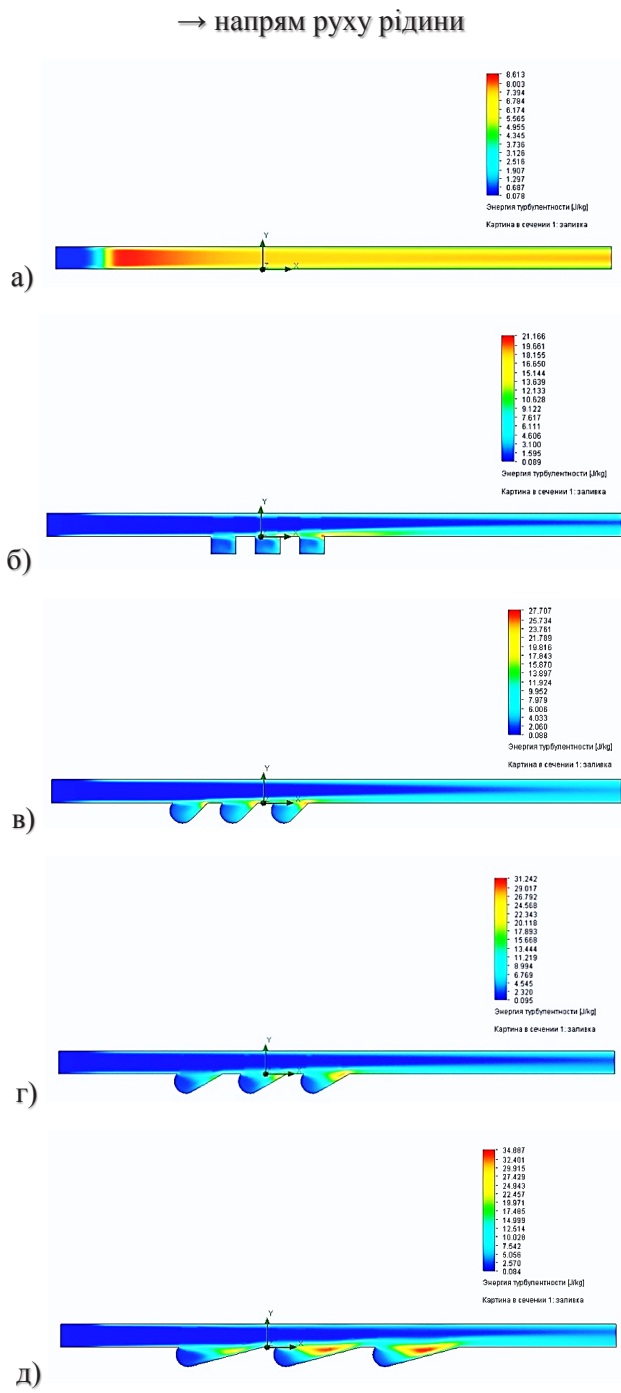


Рис. 5. Енергія турбулентності, W , Дж/кг:
а) гладкий канал; б) чарунка Гріггса; в) при $\alpha=45^\circ$;
г) при $\alpha=60^\circ$; д) при $\alpha=75^\circ$

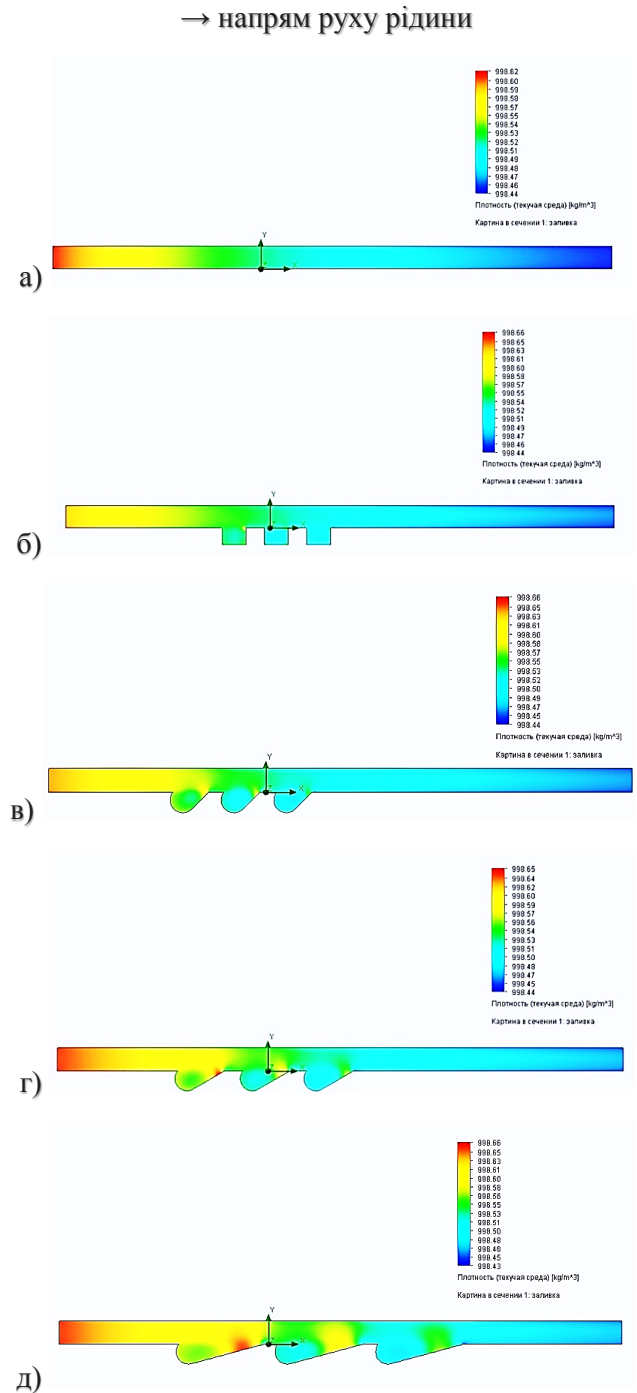


Рис. 6. Густина, ρ , кг/м³: а) гладкий канал;
б) чарунка Гріггса; в) при $\alpha=45^\circ$; г) при $\alpha=60^\circ$;
д) при $\alpha=75^\circ$

ектуванні нових кавітуючих систем для прогнозування можливих характеристик пристроїв, що конструйовані на базі досліджених зразків.

Наведені показники свідчать про те, що використана в роботі програма Solidworks у середовищі Flow Simulation дала можливість дати кількісну оцінку показників, що відображають динаміку і наслідки процесу кавітування в зоні збудження потоку води, тобто в чарунках робочої поверхні пристрою для кавітування рідин.

При цьому слід відмітити, що при використанні чарунок дослідженого типу наслідків кавітаційного руйнування в порівнянні з чарунками Гріггса не виявлено, що пояснюється відсутністю

гідродинамічного впливу на поверхню чарунки з $R=5$ мм. і кутом розкриття 75° .

Пошуки оптимальної конфігурації чарунки привели до того, що зміна кута розкриття чарунки від 90° (чарунка Гріггса) до 45° , 60° , 75° (чарунки дослідні) помітно вплинула на швидкість руху, тиск, густину води в обсязі чарунки; збільшення визначених показників складало 2÷2,5 рази в порівнянні з впливом геометрії чарунки Гріггса, в порівнянні з показниками, що є характерними для трубопроводу без чарунок – більше в 3,5÷4 рази.

Що стосується визначення найбільшого впливу тиску чарунок, то всі показники контрольованих в експерименті характеристик виявилися чутливими до зміни кута 90° (чарунка Гріггса) на 45° , 60° , 75° . Проява впливу кута розкриття в дослідних чарунках визначений на контрольовані показники: енергії турбулентності в 2,3 рази при розкритті чарунки з 45° до 60° , збільшення завихрення в 1,5 рази, збільшення зниження тиску в чарунці на 27%. Збільшення швидкості потоку води в дослідних чарунках помітно проявилися тільки в порівнянні з чарункою Гріггса – в 2,3÷2,4 рази.

При розгляді змін в якісному кольоровому зображенні на розрахованих відповідно програми

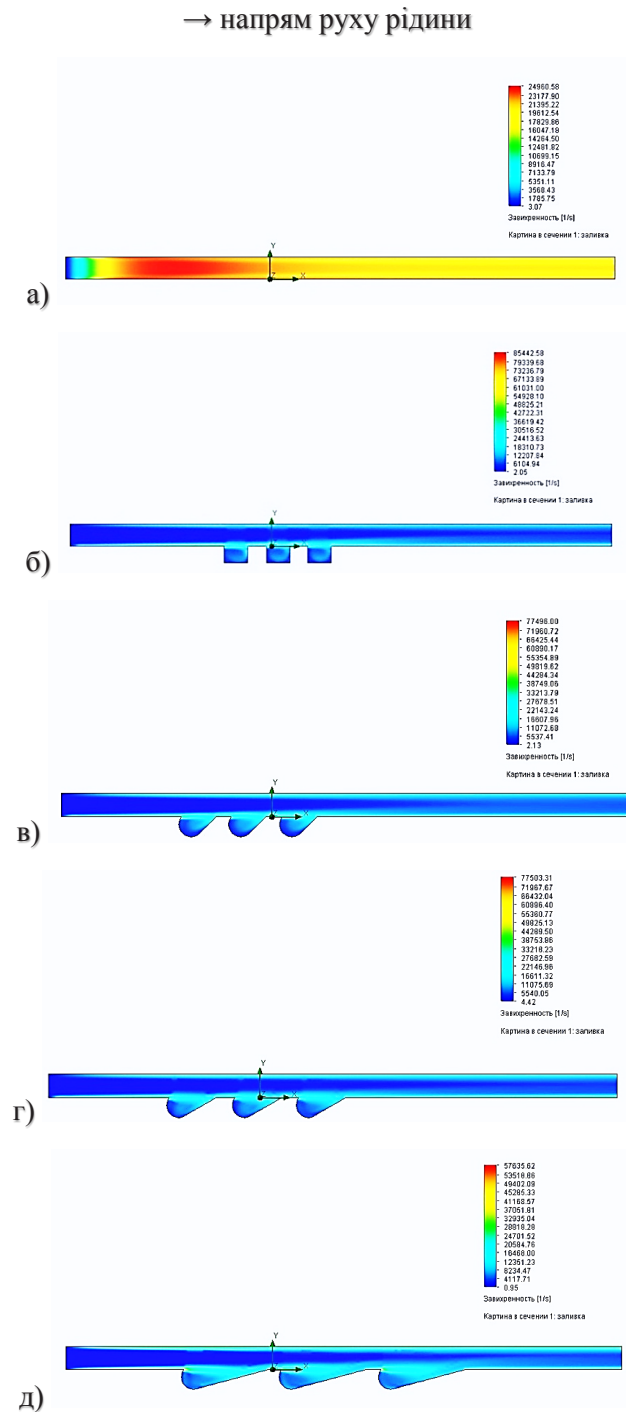
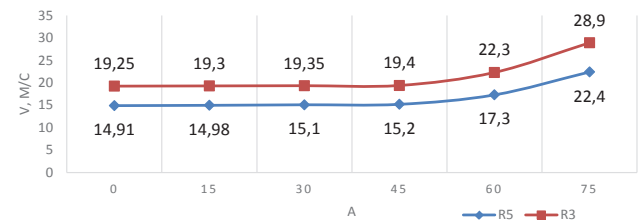
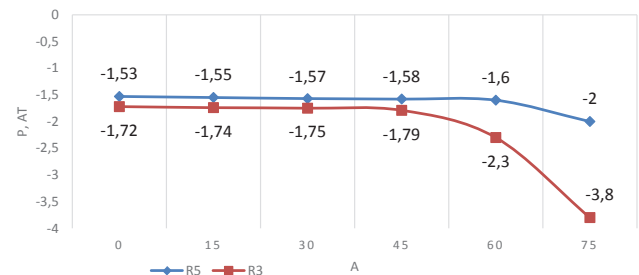


Рис. 7. Завихрення, п, 1/сек: а) гладкий канал; б) чарунка Гріггса; в) при $\alpha=45^\circ$; г) при $\alpha=60^\circ$; д) при $\alpha=75^\circ$



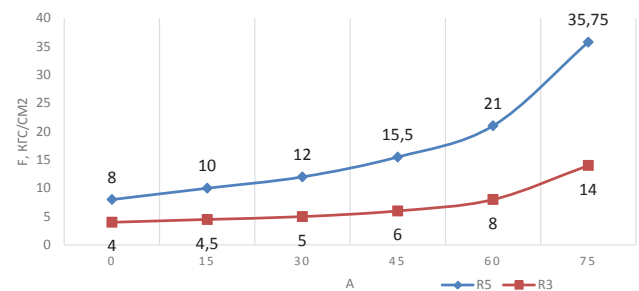
$f(x)=0,0023x^2-0,0079x+19,39$ для R3
 $f(x)=0,00033x^2-0,0691x+14,81$ для R5

Рис. 3. Вплив кута відкриття чарунки на швидкість відриву води



$f(x)=-0,0004x^2+0,0205x-1,51$ для R3
 $f(x)=-0,0007x^2+0,28x-1,71$ для R5

Рис. 4. Вплив кута відкриття чарунки на тиск на її дні



$f(x)=0,0027x^2-0,08x+4,35$ для R3
 $f(x)=0,006x^2-0,12x+8,49$ для R5

Рис. 5. Вплив кута відкриття чарунки на відцентрову силу викиду води

топограмах Solidworks Flow Simulation слід відмітити, що інтенсивність того чи іншого кольору змінюється (збільшується, як правило), від першої до третьої чарунки, тобто є необхідність повторити використання реалізованої в даній роботі програми для замкнених каналів у вигляді кола, а саме для роторів і статорів роторних кавітаторів з гладкими та рельєфними поверхнями на їх внутрішні та зовнішній периферіях.

Шляхом математичного розрахунку було визначено результати значень на швидкість відриву води для чарунки з радіусом $R=3$ мм та $R=5$ мм. Отримані результати представлені на **рис. 3**.

Шляхом математичного розрахунку було визначено результати значень впливу кута відкриття чарунки на тиск на її дні для чарунки з радіусом $R=3$ мм та $R=5$ мм. Отримані результати представлені на **рис. 5**.

За попередніми розрахунковими результатами було визначено результати значень відцентрової сили викиду води для чарунки з радіусом $R=3$ мм та $R=5$ мм. Отримані результати представлені на **рис. 5**.

Отримані залежності дозволяють стверджувати, що зміни двох досліджуваних факторів: радіуса чарунки та кута її розкриття на математичній моделі свідчать про помітний вплив на фізичні та енергетичні характеристики потоку транспортованої рідини, а саме збільшення радіусу чарунки (R) та кута її розкриття (α) забезпечують збільшення швидкості та відцентрової сили викиду об'єму води з чарунки та зменшенню тиску на дно чарунки. Більш докладніший порівняльний аналіз отриманих значень показників свідчать про те, що:

– швидкість викиду води з чарунки збільшується при збільшенні кута α у 1,5 рази, при збільшенні R – у 1,3 рази, а при збільшенні обох цих параметрів α та R – у 1,94 рази;

– тиск на дно чарунки зменшується, при збільшенні кута α – у 1,9 рази, при збільшенні R – у 1,9 рази, при збільшенні обох параметрів R та α – у 2,48 рази;

– відцентрова сила викиду води з чарунки збільшується при збільшенні α – у 5,2 рази, при збільшенні R – у 2,55 рази, при збільшенні обох цих параметрів – у 8,13 разів.

Таблиця 1

Результатів дослідження впливу різних видів перешкод

№ п/п	Характеристика руху води	α	Місце визначення						$\pm \Delta O/G$, %
			чарунка		щілина		чарунка Гріггса		
			min	max	min	max	min	max	
1	Швидкість V , м/с	45	0	14	23,2	32,4	0	14,86	-5,8
		60	0	16	23,4	32,5	-	-	+7,7
		75	0	18	25,3	32,7	-	-	+21,0
	Зміна швидкості	$\pm \Delta V$, %	-	28,6	8,3	1,0	-	-	-
2	Повний тиск P , атм.	45	1,63	3,63	1,03	3,43	0,01	0,68	+8,9
		60	1,65	2,70	0,81	3,74	-	-	+4,0
		75	1,58	3,82	0,84	3,82	-	-	+5,6
	Зміна повного тиску	$\pm \Delta P$, %	3	26	18	11	-	-	-
3	Енергія турбулентності W , Дж/кг	45	2,06	21,8	0,09	7,98	0,12	18,1	+20
		60	2,32	24,6	0,095	8,99	-	-	+3,6
		75	0,08	34,9	0,084	11,68	-	-	+93
	Зміна енергії	$\pm \Delta W$, %	-96	+60	-7	+46	-	-	-
4	Густина ρ , кг/м ³	45	0,49*	0,55	0,45	0,63	0,41	0,47	+12,5
		60	0,48	0,65	0,47	0,65	-	-	+18
		75	0,53	0,66	0,49	0,66	-	-	+19
	Зміна густини	$\pm \Delta \rho$, %	+8	+20	+9	+5	-	-	-
5	Завихрення n , 1/сек	45	2,13	22143	2,13	5537	0,21	11020	201
		60	4,42	22147	4,42	5540	-	-	201
		75	0,95	25646	0,95	6404	-	-	235
	Зміна завихрення	$\pm \Delta n$, %	+465	+16	+465	+16	-	-	-

*ісходний показник: $998,49 \text{ кг/м}^3 \pm \Delta$ розрахована по показнику 0,49. Характеристика (ρ , г/см³) графічно представлена зміною показника за комою після цілої величини, тобто істинний показник визначений, наприклад, для чарунки Гріггса змінюється від 998,41 до 998,47 кг/м³

Таблиця 2

Порівняльні дані показників

№ п/п	Показник	Символ	Одиниці вимірювання	Зміна показників, $\Delta\%$			
				Місто визначення			
				чарунка		щілина	
				із $\alpha=75^\circ$	Гріггса	Із чарунками	Без чарунок
1	Швидкість потоку	V	м/с	-90	-20	+7,5	-64
2	Повний тиск	P_p	атм	-80	-66	-9	-34
3	Завихрення	n	1/с	+84	+92	+16	99,9
4	Енергія турбулентності	W_t	Дж/кг	+95	+91	+23	+95
5	Густина	ρ	г/см ³	-25	-24	+14	-29

Із наведених результатів найбільш вагомий вплив R та α показують на зміні відцентрової сили викиду об'єму води з чарунки з кутом розкриття 75° та радіусом 5 мм.

Висновки. 1. На визначеній дослідній ділянці трубопроводу встановлені закономірності впливу розмірів та форм чарунок внутрішньої рельєфної поверхні на показники зміни швидкості руху (V , м/с), тиску (P , атм), енергії турбулентності (W_T , Дж/кг), завихрюванні (n , 1/с), густини (ρ , г/см³).

2. Розраховані за програмою Solidworks Flow Simulation показники впливу розмірів дослідних чарунок на характеристики руху води і її властивостей свідчать про суттєві їх зміни при збіль-

шенні розмірів чарунок (з $R3$ мм до $R5$ мм), та кутів розкриття α .

3. Кількісно встановлено, що заміна радіального (90°) викиду води з чарунки на дотичний (від 45° до 75° помітно (до 3-4-х разів) вплинула на збільшення показників руху води в трубопроводі).

4. Отримані на даному етапі досліджень результати очікується використати при проектуванні трубопроводів і кавітаторів.

5. Наведені результати порівняльного аналізу найбільше значних факторів впливу (R та α) на гідравлічні характеристики потоку води в трубних пристроях знайшли своє використання в розробках трубних та роторних кавітаторів, що запатентовані і патентуються [5].

Список літератури:

1. Геллер С. Вихревые теплогенераторы. Гидроимпульсный нагреватель жидкости [Текст] / С. Геллер // Акватерм. – 2006. – № 6(34). – С. 28-29.
2. Жебышев Д. А. Возбуждение колебаний в жидких средах гидродинамическими генераторами [Текст] / Д. А. Жебышев // Справочник. Инженерный журнал. – 2004. – № 12. – С. 19-24.
3. Sorokodum E. On general nature of forces [Text] / E. Sorokodum // New Energy Technologies. – January-February 2002. – Vol. 1, № 4. – P. 30-36.
4. Осаул П. А. Разработка автономных систем теплопроизводства с ПЭДЖ, совмещенным с теплообменником [Текст] / П. А. Осаул, А. И. Осаул // Материалы конференции «Аномальные физические явления в энергетике и перспективы создания нетрадиционных источников энергии». – Харьков, 2005. – С. 250-261.
5. Пристрій для виробництва і передачі тепла [Текст]: патент № 78155, МПК (2013.01 F25B 29/00), Осаул П. О., Осаул О. І., Востоцький С. М.; № U20121/0397 заявл. 03.09.2012, опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5.

Осаул А.И., Самсоненко И.Н., Волков Т.М.

Запорожская государственная инженерная академия

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ЛОКАЛЬНОЙ КАВИТАЦИИ

Аннотация

Выполнен сравнительный анализ механизма преобразования топографии гидравлических процессов в ячейках Григгса и предложенных (запатентованных) в работе. Установлены закономерности влияния размера ячейки (радиуса сферы) и её угла раскрытия на скорость, центробежную силу выхода из ячейки объёма воды и на степень разрежения жидкости в ячейке (давление на дне ячейки). Результаты, полученные с использованием математического моделирования по программе Solidworks Flow Simulation использованы при разработке конструкций рабочих элементов роторных и трубных кавитаторов.

Ключевые слова: кавитация, ячейка, давление, скорость, центробежная сила.

Osaul A.I., Samsonenko I.N., Volkov T.M.

Zaporizhzhya State Engineering Academy

INVESTIGATION OF THE LOCAL CAVITATION MECHANISM

Summary

A comparative analysis of the mechanism for transforming the topography of hydraulic processes in the Griggs cells and the proposed (patented) ones is performed. The regularities of the cell size effect (sphere radius) and its angle opening on the velocity, on the centrifugal force of the water volume and the degree of the liquid rarefaction in the cell (bottom cell pressure) are determined. The results been obtained by mathematical modeling (with Solidworks Flow Simulation programme) were used in the elaborating of the design of rotary and tube cavitators working elements.

Keywords: cavitation, cell, pressure, velocity, centrifugal force.