



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 52760

(13) C2

(51) 6 F15D1/00,1/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ УПРАВЛІННЯ ТУРБУЛЕНТНИМ ГРАНИЧНИМ ШАРОМ

1

(21) 2000010291

(22) 18 01 2000

(24) 15 01 2003

(46) 15 01 2003, Бюл. № 1, 2003 р.

(72) Горбань Володимир Олексійович, Вовк Віктор Миколайович

(73) Горбань Володимир Олексійович, Вовк Віктор Миколайович

(56) Mochizuki S & Osaka H Drag reduction with submerged ribs and its mechanism in a turbulent boundary layer over D-type roughness/ Proceedings of the International Symposium on Seawater Drag Reduction, Newport, MS, 1998, 121-126

(57) 1 Спосіб управління турбулентним граничним шаром (ТГШ), який включає створення набігаючим потоком системи стаціонарних вихорів (СВ), яка складається із ряду ланцюгів, сформованих із відокремлених один від одного дискретних СВ, при цьому кожен ланцюг генерує вихровий канавці (ВК), а кожен із дискретних СВ ланцюга генерує у відповідному відсіку ВК, на які ВК розділені перегородками, орієнтованими вздовж набігаючого потоку, причому осі обертання усіх дискретних СВ одного ланцюга орієнтовані вздовж центральної поздовжньої осі ВК, а самі ВК відокремлені одна від одної розподільчими ребрами, причому ВК розміщені нижче твірної поверхні, яка обтікається, і перпендикулярно до набігаючого потоку, відбір стаціонарними вихорами із ТГШ турбулентних структур подавлення цих структур в стаціонарних вихорах, дію на механізм, структуру та режим течії кожного дискретного СВ силами в'язкості, створюваними поверхнею ВК та поверхнями перегородок, подавлення турбулентних структур, які рухаються по зовнішній поверхні ребер, дією сил в'язкості, створюваними зовнішніми поверхнями розподільчих ребер, який відрізняється тим, що турбулентні структури, відібрані стаціонарними вихорами із ТГШ, подрібнюють та подавляють додатково дією на механізм, структуру і режим течії СВ системою елементів, сформованих у вигляді проникних для течії рідини циліндричних роторів з круговим поперечним перерізом, розміщених у

2

відсіках ВК, причому всі ротори в кожному ВК насаджено на один вал, яким ці ротори обертають, а вісь вала спрямована вздовж центральної поздовжньої осі ВК, причому на течію СВ діють як інерційними силами, створюваними формою елементів, так і силами в'язкості, створюваними поверхнею елементів, і при цьому відсмоктують рідину із стаціонарних вихорів по всій довжині кожного дискретного СВ або з боку поверхні ВК, або з боку поверхні вала, або одночасно з обох цих боків, крім того поверхню ВК виконують вигнутою по відношенню до її центральної поздовжньої осі, а діаметр ротора виконують таких розмірів, щоб він подавляв турбулентні структури у всьому об'ємі СВ за винятком пристінного шару, де ці структури подавляють силами в'язкості, створюваними поверхнею ВК, при цьому розміри ВК в поперечному перерізі збільшують у напрямку руху набігаючого потоку у міру зростання товщини ТГШ, крім того подавляють турбулентні структури, що рухаються по зовнішній поверхні розподільчих ребер, прискорюючи потік над цими поверхнями додатково дією інерційними силами, які створюють формою зовнішніх поверхонь розподільчих ребер, виконаних з подвійною кривизною так, що їх передня частина виконана вигнутою, а задня - опуклою по відношенню до набігаючого потоку, при цьому ці поверхні з твірною поверхні, що обтікається, співпадають тільки своїми задніми кромками, а передні кромки розміщені нижче твірної

2 Спосіб за п 1, який відрізняється тим, що рідину із дискретних СВ з боку поверхні ВК відсмоктують, як мінімум, через одну щілину, виконану в стінці вихрової канавки по всій її довжині

3 Спосіб за п 1, який відрізняється тим, що рідину із дискретних СВ з боку поверхні вала відсмоктують роздільно через перфоровані по всій поверхні стінки валів, виконаних пустотілими

4 Спосіб управління за п 1, який відрізняється тим, що гідродинамічні сили створюють сітками або струнами з круглим поперечним перерізом

(13) C2

(11) 52760

(19) UA

Винахід відноситься до галузі гідродинаміки, а також може бути використаний в теплотехніці та в хімічній промисловості і належить до способів зменшення гідродинамічного опору тіл, що рухаються в рідині чи газі, а також для зменшення гідродинамічного опору при русі рідини і газу по трубах та каналах

Відомий спосіб управління турбулентним граничним шаром (ТГШ) [1], який спрямований на зменшення гідродинамічного опору, поверхні, що обтікається, який містить створення та утримання чотирьох стаціонарних вихорів (СВ), які генеруються відповідно у чотирьох вихрових канавках, розміри поперечного перерізу яких в напрямку потоку незмінні, причому вісь обертання кожного із СВ орієнтована вздовж центральної поздовжньої осі відповідної вихрової канавки (ВК) прямокутного поперечного перерізу, при цьому ВК розміщені перпендикулярно до набігаючого потоку нижче твірної поверхні, й відокремлені одна від одної розподільчими ребрами, а зовнішні поверхні розподільчих ребер співпадають із твірною поверхні, що обтікається, відбір стаціонарними вихорами із ТГШ турбулентних структур і подавлення їх у стаціонарних вихорах, дію на механізм, структуру і режим течії СВ силами в'язкості, створюваними поверхнею ВК, які підтримують режим течії СВ, з малим рівнем турбулентних пульсацій, причому ВК виконують таких розмірів, щоб сили в'язкості при дії з боку поверхні ВК на течію СВ створювали у всьому об'ємі СВ режим течії з низьким рівнем турбулентних пульсацій, тобто режим з однорідною дрібномасштабною структурою течії в вихорі, яка не генерує збурень, що призводять до руйнування вихору. В цьому випадку такий режим досягається спеціальним вибором параметрів ВК, що забезпечують ламінарний характер течії в ВК

Причинами, які не дозволяють зменшити гідродинамічний опір поверхні, що обтікається, таким способом при розвиненому турбулентному режимі течії ТГШ є недостатня стійкість СВ, що зумовлює розвал СВ та регулярної структури пристінної течії при зростанні турбулентних пульсацій, пропорційних швидкості обтікання та числу Рейнольдса. Недоліком цього способу також є виконання ВК прямокутними в поперечному перерізі, що призводить до генерації вторинних вихрових структур в кутках ВК, що вимагає зменшення розмірів ВК до таких, які забезпечують режим течії з низьким рівнем турбулентних пульсацій (в даному випадку ламінарний). А обмеження розмірів ВК в свою чергу зменшує область параметрів ТГШ, в якій ефективно діють СВ, тільки перехідною зоною ТГШ

Найбільш близьким способом за своєю технічною суттю, який прийнятий за прототип, є спосіб управління ТГШ [2], спрямований на зменшення гідродинамічного опору поверхні, що обтікається, який містить створення набігаючим потоком системи СВ, яка складається із десяти ланцюгів, сформованих із відокремлених один від одного дискретних СВ, при цьому, ланцюги дискретних СВ генеруються у ряді із десяти вихрових канавок (ВК), прямокутної форми в поперечному перерізі, розміри поперечного перерізу яких в напрямку потоку незмінні, причому осі обертання усіх дискретних

СВ одного ланцюга орієнтовані вздовж центральної поздовжньої осі ВК, розподілених перегородками, орієнтованими вздовж набігаючого потоку, на відсіки однакової довжини, а самі вихорові канавки, відокремлені одна від одної розподільчими ребрами прямокутної форми, при чому ВК розміщені нижче твірної поверхні, що обтікається, і перпендикулярно до набігаючого потоку, а зовнішні поверхні розподільчих ребер співпадають із твірною поверхні, що обтікається, зменшення масштабу та інтенсивності турбулентних структур, які породжуються при обтіканні ВК прямокутної форми і виносяться із ВК в ТГШ, дію на ці структури силами в'язкості, створюваними зовнішніми поверхнями розподільчих ребер, відбір стаціонарними вихорами із ТГШ турбулентних структур та подавлення їх у стаціонарних вихорах, дію на механізм, структуру і режим течії СВ силами в'язкості, створюваними поверхнею ВК та поверхнями перегородок, при чому ВК виконуються з такими малими розмірами, при яких сили в'язкості формують у всьому об'ємі ВК течію з низьким рівнем турбулентних пульсацій

Для з'ясування ефективності управління ТГШ шляхом генерації СВ у ВК прямокутної форми слід розглянути механізми, що впливають на структуру пристінної течії. До таких механізмів течії, які впливають на ефективність СВ при їх управлінні процесами масо-енергопереносу поперек ТГШ відноситься прецесія центру СВ та утворення вторинних вихрових структур. Такі структури утворюються в кутових областях канавки прямокутної форми. Вони генеруються також в околі гострих кромek канавки, якщо центр стаціонарного вихору не співпадає з його рівноважним положенням в канавці. Чим більше відхилення вихору від рівноважного положення, тим більший масштаб та інтенсивність генерованих вторинних вихорів і несиметрія течії в канавці. Зростає також рівень пульсацій швидкості і тиску. Під час прецесії вихору в циркуляційній течії виникають конфузorno-дифузorno ефекти. Для кожного розміру ВК є своя критична швидкість циркуляційної течії (число $Re_{ВК}$ критичне), при перевищенні якої втрачається стійкість СВ й здатність СВ до управління ТГШ. При перевищенні швидкості циркуляційної течії свої критичні величини різко збільшується швидкість і амплітуда прецесії центру СВ. При цьому збільшується масштаб та інтенсивність генерованих вторинних вихорів, зростає частота взаємних переходів конфузorno-дифузorno форм течії. Внаслідок цього потік в канавці дестабілізується й турбулізується, із канавки в ТГШ імпульсне викидаються маси завихреної рідини, що додатково турбулізують течію в ТГШ. При зменшенні розмірів ВК, коли число $Re_{ВК}$ менше числа $Re_{ВК}$ критичного, сили в'язкості подавляють інерційні сили пульсаційного руху у всьому об'ємі ВК. Відповідно зменшуються швидкість прецесії, масштаб вторинних вихорів та конфузorno-дифузorno ефекти в циркуляційній течії, підвищується стійкість СВ та їх ефективність в управлінні ТГШ.

Головним механізмом, який впливає на ефективність СВ в управлінні ТГШ, є механізм подавлення турбулентних та вихрових структур, відбра-

них СВ із ТГШ, дією створюваних сил в'язкості, що приводить до обмеження величини зсувних напружень та їх більш рівномірного розподілу в об'ємі ВК, а також до стабілізації СВ. Величина зсувних напружень в об'ємі ВК залежить від масштабів і форми ВК та інших засобів розміщених на стінках або в об'ємі ВК. Зсувні напруження необхідної величини та відповідний рівень дисипації енергії у ВК прототипу створюються лише шляхом в'язкої взаємодії рідини, що циркулює в СВ, з поверхнею ВК. Але масштаб турбулентних вихрових структур, які подавляються в'язкістю обмеженої області малих чисел Рейнольдса, тобто в'язкість впливає лише на еволюцію вихорів дуже малих розмірів і інтенсивності. Звідси впливають обмеження на розміри ВК, що використовуються в прототипі. При збільшенні швидкості потоку зростають амплітуди прецесійних рухів СВ, а також масштаби відповідних вторинних вихрових структур в ВК. Обмежені можливості подавлення цих структур, а також формування вторинних вихорів в кутках ВК прямокутної форми призводять до відповідних обмежень на рівень турбулентних пульсацій в ТГШ над системою СВ, а значить і на рівень швидкості течії та інших характеристик потоку, тобто істотно зменшують область ефективної дії такого способу управління ТГШ.

Аналіз механізмів обтікання ВК прямокутної форми окреслює недоліки способу управління ТГШ, який реалізується прототипом. До недоліків прототипу відносяться обмеження розмірів ВК такими розмірами, які необхідні для забезпечення режиму течії СВ з низьким рівнем турбулентності, а це призводить до обмеження області ефективного управління тільки перехідною зоною ТГШ. Недоліком способу є створення СВ в ВК прямокутної форми. Така форма ВК не дозволяє, створеним поверхнею ВК, силами в'язкості діяти на механізм, структуру й режим течії СВ безпосередньо з боку всієї поверхні ВК тому, що в кутках ВК генеруються вторинні вихрові структури. Тому сили в'язкості створені частиною поверхні ВК, яка взаємодіє з цими структурами, діють не безпосередньо на СВ, а на ці вихрові структури. Такий механізм дії сил в'язкості, створюваних поверхнею ВК прямокутної форми, зменшує загальну величину дії цих сил, спрямованої на подавлення відібраних із ТГШ турбулентних структур. Окрім того, недоліком цього способу є значне збільшення турбулізації ТГШ, а також збільшення гідродинамічного опору поверхні з системою ВК при його застосуванні в областях ТГШ з розвиненим турбулентним режимом. Це відбувається через втрату стійкості СВ і розвал СВ, які обумовлені різким збільшенням інтенсивності прецесійних рухів СВ в ВК, конфузотно-дифузторних явищ в течії СВ під впливом зовнішніх збурень, які діють на СВ із ТГШ і вторинних вихорів, які утворюються в кутових областях і пов'язані з прямокутною формою ВК.

В основу винаходу поставлено задачу удосконалення способу управління ТГШ, спрямованого на зменшення гідродинамічного опору поверхні, що обтікається, системою СВ при розвиненому турбулентному режимі обтікання поверхні, шляхом зменшення масо-енергообміну в ТГШ, через збільшення величини відбору СВ турбулентної енер-

гії із ТГШ й прискорення її дисипації в цих вихорах, підвищення стійкості СВ до руйнування їх вихровими та турбулентними збуреннями й усунення масо-енерговикідів із СВ в ТГШ шляхом зменшення конфузотно-дифузторних переходів в течії СВ.

Технічний результат досягається тим, що у відомому способі управління ТГШ, який містить створення набігаючим потоком системи стаціонарних вихорів, яка складається із ряду ланцюгів, сформованих із відокремлених один від одного дискретних СВ, а ланцюги дискретних СВ генеруються у вихрових канавках, розподілених перегородками, орієнтованими вздовж набігаючого потоку, при цьому самі вихорові канавки відокремлені одна від одної розподільчими ребрами, а ВК розміщені нижче твірної поверхні, яка обтікається, і перпендикулярно до набігаючого потоку, причому осі обертання усіх дискретних СВ одного ланцюга орієнтовані вздовж центральної поздовжньої осі вихрової канавки, відбір стаціонарними вихорами із ТГШ турбулентних структур, подавлення їх та дисипацію турбулентної енергії в стаціонарних вихорах, дію на механізм, структуру та режим течії кожного дискретного СВ гідродинамічними силами, реалізованими силами в'язкості, створюваними поверхнею ВК та поверхнями перегородок, подавлення турбулентних структур в пристінному потоці над розподільчими ребрами дію на них силами в'язкості, створюваними зовнішніми поверхнями розподільчих ребер, згідно винаходу турбулентні структури відібрані стаціонарними вихорами із ТГШ, подрібнюють та подавляють додатковою дією на механізм, структуру та режим течії СВ системою елементів, сформованих у вигляді циліндричних роторів з круговим поперечним перерізом, розміщених у відсіках ВК, при цьому всі ротори в кожному ВК насажені на один вал, яким ці ротори обертають, а вісь вала спрямована вздовж центральної поздовжньої осі ВК, при чому на течію СВ діють як інерційними силами, створюваними формою елементів, так і силами в'язкості, створюваними поверхнею цих елементів, при цьому відсмоктують рідину із стаціонарних вихорів, по всій довжині кожного дискретного СВ або з боку поверхні ВК, або з боку поверхні вала, або одночасно з обох сторін, крім того виконують поверхню ВК вигнутою по відношенню до її центральної поздовжньої осі, а діаметр ротора виконують таких розмірів, щоб він подавляв турбулентні структури у всьому об'ємі СВ за винятком пристінного шару, де ці структури подавляють силами в'язкості, створюваними поверхнею ВК, при цьому розміри ВК в поперечному перерізі збільшують у напрямку набігаючого потоку, пропорційно зростанню товщини ТГШ, крім того подавляють турбулентні структури, що рухаються по зовнішній поверхні розподільчих ребер, прискорюючи потік над цими поверхнями, додатково дію на них інерційними силами, створюваними формою зовнішніх поверхонь розподільчих ребер, виконаних з подвійною кривизною так, що їх передня частина виконана вигнутою, а задня - опуклою по відношенню до набігаючого потоку, при цьому торцеві поверхні з твірної поверхні, що обтікається, співпадають тільки своїми задніми кромками, а передні кромки розміщені нижче твірної.

В окремому випадку спосіб відрізняється тим, що рідину із дискретних СВ з боку поверхні ВК відсмоктують, як мінімум, через одну щілину, виконану в стінці вихрової канавки, наприклад в нижній частині ВК по всій її довжині.

В окремому випадку спосіб відрізняється тим, що рідину із дискретних СВ з боку поверхні валу відсмоктують розподільне через перфоровану по всій поверхні, стінку вала, виконаного пустотилім.

В окремому випадку здійснення способу, відрізняється тим, що гідродинамічні сили, створюють елементами, виконаними оптками або струнами кругового поперечного перерізу.

При обтіканні поверхні турбулентним потоком в'язкої рідини на ній утворюється турбулентний граничний шар, породження турбулентності в якому визначається в'язкою взаємодією рідини з цією поверхнею. Структура течії в ТГШ залежить від механізму породження цієї турбулентності і визначається розмірами і інтенсивністю турбулентних структур та їх розміщенням поперек ТГШ. Гідродинамічний опір поверхні, що обтікається турбулентним потоком визначається величиною турбулентного масо-енергообміну поперек ТГШ. В свою чергу величина масо-енергообміну залежить від механізму, структури та режиму течії ТГШ.

Спосіб управління турбулентним граничним шаром, який пропонується, спрямований на зменшення гідродинамічного опору в області розвинутого турбулентного режиму обтікання поверхні шляхом зменшення масо-енергообміну в поперечному напрямі ТГШ за рахунок генерації СВ, збільшення величини відбору СВ турбулентної енергії із ТГШ, збільшення величини турбулентної енергії, яку дисипують в СВ і прискорення її дисипації в цих вихорах, підвищення стійкості СВ до руйнування їх вихровими та турбулентними збуреннями і усунення масо-енерговикидів із СВ в ТГШ завдяки зменшенню прецесійних рухів СВ та конфузотно-дифузортних явищ в циркуляційній течії в ВК.

Зменшення масо-енергообміну поперек ТГШ за рахунок збільшення величини відбору СВ турбулентної енергії із ТГШ в заявлюваному способі забезпечують за рахунок збільшення розмірів ВК, в яких генерують СВ, при цьому розміри ВК збільшують у напрямку навігаючого потоку пропорційно збільшенню товщини ТГШ.

Чим більші розміри ВК, тим з більш віддалених від поверхні, що обтікається, і більш турбулізованих зовнішніх прошарків ТГШ, за рахунок передачі турбулентної енергії поперек ТГШ, відбувається відбір турбулентної енергії. Відбір енергії із пристінних прошарків ТГШ відбувається шляхом спрямування у ВК турбулізованої рідини дією цих прошарків і затягування її у циркуляційну течію СВ шляхом обертання ротора з круговим поперечним перерізом, виконаного з об'ємно розміщених елементів в вигляді проникного для течії рідини циліндра, та відсмоктування рідини із СВ. Збільшення розмірів ВК забезпечується тим, що на механізм, структуру і режим течії СВ одночасно із дією силами в'язкості, породжуваними поверхнею ВК та перегородкою додатково діють відсмоктуванням рідини та гідродинамічними силами, реалізованими як силами в'язкості, створюваними поверхнею так і

інерційними силами, створюваними формою просторово розміщених елементів, сформованими у вигляді циліндричного ротора, проникного для течії рідини, посадженого на вал, який обертають, вісь якого спрямована вздовж центральної поздовжньої осі ВК. За рахунок цього при збільшенні СВ, пропорційно збільшенню розмірів ВК, підвищується стійкість СВ до руйнування їх вихровими та турбулентними збуреннями і зменшуються масо-енерговикиди із СВ в ТГШ завдяки зменшенню конфузотно-дифузортних явищ в циркуляційній течії в ВК, при цьому діаметр ротора виконують таких розмірів, щоб він подавляв турбулентні структури у всьому об'ємі СВ за винятком пристінного шару, де ці структури подавляють силами в'язкості, створюваними поверхнею ВК.

Для розподілених в об'ємі ротора елементів базується на розбиванні великих вихрових структур, які затягуються в СВ із зовнішніх прошарків ТГШ на дрібні, що швидко подавляються й згасують завдяки в'язкій дисипації і припиняють своє існування. Ефективне вирівнювання поля швидкості та формування в кожній ВК єдиного стійкого до збурень СВ здійснюється елементами, що складають проникний ротор. Під дією гідродинамічних сил, породжуваних цими елементами, в першу чергу руйнуються і подавляються турбулентні утворення, відібрані СВ із ТГШ /3, 4, 5/, а з іншого боку обертанням проникного ротора підтримується стійкість СВ. При цьому, зменшуються градієнти конфузотно-дифузортних переходів в циркуляційній течії в ВК, усереднюється швидкість течії в СВ, зменшуються масо-енерговикиди із СВ в ТГШ і відповідно зменшується додаткова турбулізація ТГШ. Зменшення масо-енергообміну поперек ТГШ забезпечується збільшенням величини відбору СВ турбулентної енергії із ТГШ та збільшенням величини турбулентної енергії, яку дисипують у СВ. Збільшення дисипації турбулентної енергії та прискорення дисипації так само, як і збільшення відбору турбулентної енергії із ТГШ, забезпечується як за рахунок збільшення розмірів ВК, так і за рахунок дії на турбулентні структури відібрані СВ розподіленими в просторі ВК гідродинамічними силами, створюваними системою елементів сформованих в циліндричний ротор з круговим поперечним перерізом та відсмоктуванням рідини із СВ. Те що на течію СВ одночасно з дією сил в'язкості з боку поверхні ВК, діють гідродинамічними силами розподіленими в об'ємі ВК, створюваними ротором, проникним для течії рідини, та відсмоктують рідину із стаціонарного вихору, можливо збільшити розміри ВК до необхідних. Це є принципово перевагою над способом управління ТГШ, реалізованим у прототипі, в якому розміри ВК обмежені умовою створення стійкого режиму течії у всьому об'ємі СВ за рахунок дії на течію гідродинамічних сил в'язкості тільки з боку поверхні ВК та перегородок. За рахунок того, що на турбулентні структури, що породжують пульсації, діють одночасно силами в'язкості, створеними поверхнею, і інерційними силами створюваними формою елементів, сформованими в ротор, прискорюється дисипація турбулентної енергії в СВ.

Перевагою використання гідродинамічних сил, створюваних системою елементів полягає у тому,

що розмірами та щільністю розміщення елементів в об'ємі ротора можливо забезпечити таку величину і розподіл гідродинамічних сил в ВК, які формують в ВК режим течії з низьким рівнем турбулентних пульсацій, необхідний для підтримання стійкості інтенсивних СВ та прискорення дисипації турбулентних структур. Це досягається за рахунок того, що вся течія СВ цими елементами розбивається на такі маленькі структури, в об'ємі яких забезпечується ламінарний режим.

В окремому конкретному випадку виконання способу, рідину із дискретних стаціонарних вихорів відсмоктують як мінімум через одну щілину, виконану в стінці вихрової канавки по всій її довжині.

В окремому конкретному випадку виконання способу, рідину із дискретних стаціонарних вихорів відсмоктують розподілено через перфоровану по всій площі стінку ротора, виконаного пустотілим.

В окремому конкретному випадку гідродинамічні сили створюють розподіленими в об'ємі ротора елементами, які виконуються у вигляді системи розміщених по об'єму ротора спок або струн кругового поперечного перерізу.

Виконання зовнішніх поверхонь розподільчих ребер з подвійною кривизною і так, що ці поверхні співпадають з твірною тільки своєю задньою кромкою, а передня кромка розміщена нижче твірної, забезпечує конфузорність течії над зовнішньою поверхнею розподільчих ребер. В конфузорному потоці, турбулентні структури, що рухаються по зовнішній поверхні розподільчих ребер, подавляються. Прискорення потоку забезпечується спеціальною вигнутоопуклою формою зовнішньої поверхні розподільчих ребер. Таким чином, турбулентні структури подавляють дію гідродинамічних сил, реалізованими одночасно як силами в'язкості, так і інерційними силами, створюваними зовнішніми поверхнями розподільчих ребер. Додаткова дія інерційними силами, створюваними формою зовнішньої поверхні розподільчих ребер, збільшує ефекти подавлення турбулентних структур, зокрема товщину пристінного прошарку, в якому подавляються турбулентні структури.

Виконання поверхні ВК вигнутою відносно центральної поздовжньої осі ВК усуває утворення вторинних вихорів та додаткову турбулізацію течії СВ і ТГШ, яка виникає при виконанні ВК з поперечним перерізом у вигляді прямокутника, що має місце у прототипі. Крім цього, пристінний потік натікає на задню стінку ВК під гострим кутом, що зменшує розміри та інтенсивність вторинних вихрових структур в околі задньої гострої кромки ВК і усуває додаткову турбулізацію течії. На відміну від цього в прототипі пристінний потік натікає на задню стінку ВК під кутом, близьким до прямого, і при цьому різко турбулізується. Тільки частина його затягується циркуляційною течією СВ, додатково її турбулізуючи та дестабілізуючи. Частина вторинних вихорів, генерованих в околі задньої гострої кромки ВК, надходить до ТГШ і додатково його турбулізує та підсилює величину масоенергопереносу. Виконання поверхні ВК вигнутою забезпечує безпосередню дію на течію СВ силами в'язкості створюваними всією поверхнею ВК. В прототипі прямокутна форма ВК спричиняє генерування вторинних вихрових структур в кутках ВК

тому сили в'язкості, створені частиною поверхні ВК, яка взаємодіє з цими вихровими структурами діють не безпосередньо на СВ, а на вихорові структури в кутках ВК.

Розміри ВК в поперечному перерізі збільшують в напрямку руху набігаючого потоку по мірі зростання товщини ТГШ для того, щоб забезпечити оптимальні співвідношення між поперечними розмірами ВК й товщиною ТГШ за рахунок цього забезпечити максимальний відбір турбулентної енергії стаціонарними вихорами із ТГШ. Початкова величина співвідношення між розмірами поперечного перерізу ВК та товщиною ТГШ береться із прототипу.

Суть винаходу пояснюють креслення, що представлені на Фіг 1, 2. На Фіг 1 зображена ділянка поверхні, що обтікається потоком. На ній виконані вихорові канавки, поверхня яких вигнута по відношенню до центральної поздовжньої осі ВК, а розміри поперечних перерізів ВК збільшуються вниз за потоком пропорційно зростанню товщини ТГШ. Вихорові канавки розподілені на відсіки перегородками. А між собою ВК відокремлені розподільчими ребрами, зовнішня поверхня яких виконана вигнуто-опуклою по відношенню до набігаючого потоку. В кожному відсікові ВК розміщений циліндричний ротор з круговим поперечним перерізом виконаний, з проникної для течії, системи елементів. Всі ротори розміщені в відсіках однієї ВК, посаджені на один вал, яким ці ротори обертають. Набігаючим потоком та роторами в відсіках ВК генеруються ланцюги стаціонарних вихорів, якими із ТГШ відбирають турбулентну енергію. Енергія відбирається шляхом затягування стаціонарними вихорами частини турбулізованої рідини ТГШ, що рухається з боку поверхні. Відбір турбулентної енергії із ТГШ стаціонарними вихорами збільшується за рахунок відсмоктування рідини і СВ. В наведеному на кресленні випадку рідину із СВ відсмоктують через одну щілину, виконану в нижній частині стінки вихрової канавки по всій довжині дискретного стаціонарного вихору. Подавляють відібрані СВ турбулентні структури дією на них силами в'язкості, створюваними поверхнею ВК та розподільчих перегородок, а також дією силами в'язкості та інерційними силами створюваними поверхнею та формою елементів, з яких сформовані ротори. Роторами турбулентні структури подавляють в тій частині СВ, де не діють сили в'язкості, створювані поверхнею ВК. Турбулентні структури, що рухаються над зовнішніми поверхнями розподільчих ребер подавляють, за рахунок прискорення потоку над зовнішніми поверхнями ребер під дією сил інерції, створюваних формою поверхні розподільчих ребер.

Поверхню вихрових камер, як показано на Фіг 1, виконують вигнутою по відношенню до центральної поздовжньої осі ВК, а розміри поперечного перерізу ВК збільшують в напрямку набігаючого потоку по мірі збільшення товщини ТГШ.

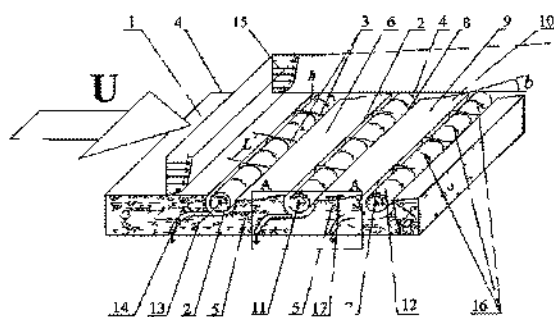
На Фіг 2 зображений вид А - А, у випадку коли вал виконаний пустотілим, а стінка вала виконана перфорованою. Крім цього тут також зображений випадок конкретного виконання елементів, з яких сформований ротор у вигляді спок. В даному випадку відсмоктують рідину із стаціонарного вихору

одночасно як через щілину виконану в поверхні ВК, так і через перфоровану стінку вала по всій довжині дискретного СВ

На фігурі 1 зображена ділянка поверхні 1, що обтакається, на якій виконана система вихрових канавок 2, розміщених перпендикулярно до набігаючого потоку U , при цьому розміри поперечного перерізу ВК збільшуються у напрямку набігаючого потоку U , по мірі збільшення товщини ТГШ - h . Кожна із вихрових канавок 2 розділена на відсіки однакової довжини L , перегородками 3, орієнтованими вздовж набігаючого потоку U . Вихорові канавки 2 знаходяться нижче твірної 4 поверхні 1. Вихорові канавки 2 відокремлені одна від одної розподільчими ребрами 5. Зовнішні поверхні 6 розподільчих ребер 5 співпадають з твірною 4 поверхні, що обтакається 1, тільки своїми задніми кромками 7, а передні кромки 8 розміщені нижче твірної 4. Самі зовнішні поверхні 6 виконані з подвійною кривизною так, що їх передня частина виконана вигнутою 9, а задня частина 10 опуклою по відношенню до набігаючого потоку U . В кожному з відсіків на валах 11 розміщені ротори циліндричної форми 12 з круговим поперечним перерізом, осі яких 13 спрямовані вздовж центральних поздовжніх осей вихрових канавок 2. Ротори 12 виконані проникними для течії рідини із просторово розміщених навколо валів 11 й закріплених на них елементів

Поверхні стінок вихрових канавок 2 виконані вигнутими по відношенню до центральних поздовжніх осей цих канавок. В стінках вихрових канавок 2 виконані щілини 14 по всій довжині вихрових канавок 2, як приклад окремого конкретного виконання

Запропонований спосіб здійснюється таким чином. На поверхні 1 набігаючий потік U утворює турбулентний граничний шар з розподілом швидкостей 15 й товщиною h . В відсіках вихрових канавок 2 потоком U та обертанням роторів генерують ланцюг дискретних стаціонарних вихорів 16. Осі обертання усіх дискретних СВ одного ланцюга



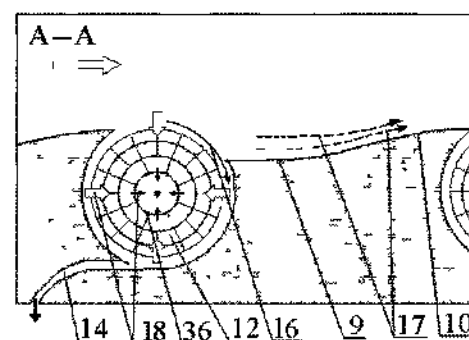
Фіг 1

орієнтовані вздовж центральної поздовжньої осі вихрової канавки 2. Ротори обертають валом 11. Рідина із ТГШ 15 затягується стаціонарними вихорами 16 в СВ, де на неї діють розподіленими гідродинамічними силами, створюваними елементами роторів 12. При обертанні проникних для течії рідини роторів 12 на механізм, структуру і режим течії стаціонарних вихорів діють гідродинамічними силами, реалізованими одночасно як силами в'язкості, створюваними поверхнею елементів так і інерційними силами, створюваними формою елементів. При цьому турбулізована рідина із СВ 16 в окремому конкретному випадку виконання способу, відсмоктують через щілини 14. Потік рідини, який затягується у ВК 2 стаціонарними вихорами 16 наткає на стінку ВК 2 під гострим кутом α , за рахунок виконання поверхні ВК 2 вигнутою по відношенню до центральної поздовжньої осі, внаслідок цього потік не турбулізується.

Також, внаслідок виконання поверхні ВК 2 вигнутою, на механізм, структуру та режим течії СВ 16 діють силами в'язкості створюваними всією поверхнею відсіку довжини L .

Турбулентні структури, що рухаються над зовнішніми поверхнями 6 подавляють прискорюючи потік 17 над цими поверхнями додатково дією інерційними силами, які створюють формою зовнішніх поверхонь 6 виконаних з подвійною кривизною - вигнутою по відношенню до потоку передньою частиною поверхні - 9 й опуклою задньою частиною 10.

На Фіг 2 зображений вид А - А у випадку коли вал 11 виконаний пустотілим, а стінка вала 11 в кожному з відсіків ВК 2 виконана перфорованою по всій її поверхні. Система елементів, з яких сформований ротор 12, виконана із сіток, які в свою чергу виконані із циліндрів круглого поперечного перерізу. Рідину із стаціонарного вихору 16 відсмоктують одночасно як через щілину 14, так і через перфоровану стінку вала 11.



Фіг 2