

Регулярне розв'язання задачі наведення міститься у класі неперервних функцій та одержується в результаті розв'язку задачі оптимального керування.

Список літератури

1. Флеминг У., Ришел Л. Оптимальное управление детерминированными и стохастическими системами: Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 320 с.
 2. Брайсон А., Хо Ю-Ши Прикладная теория оптимального управления: Пер. с англ. – М.: Мир, 1972. – 544 с.
 3. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. 1. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит. 1958. – 608 с.
 4. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации сложных систем. – К.: Наук. думка, 1982. – 296 с.
 5. Сильвестров А.Н., Чинаев П.И. Идентификация и оптимизация автоматических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 200 с.
 6. Бояринов В.А., Лумпов Н.А. Уточнение структуры начальных значений сопряженной системы в задачах принципа максимума Понтрягина // Авиационное вооружение – К.: КВВАИУ, 1990. – Вып. 4. – С.47-52.
 7. Федоренко Р.В. Приближенное решение задачи оптимального управления. – М.: Наука, 1978. – 488 с.
- Стаття надійшла до редакції 06.07.01.

УДК 532.526.4:597.31

B 253.349.056.3

В. І. Коробов, Н.О. Клешня

КОМБІНОВАНИЙ ВПЛИВ ПОЛІМЕРНИХ ДОБАВОК І ПОДАТЛИВОСТІ СТІНКИ НА ГІДРОДИНАМІЧНЕ ТЕРТЯ

Експериментально досліджено в діапазоні чисел Рейнольдса $10^6 - 2 \cdot 10^7$ гідродинамічний опір подовжньо обтічних жорсткого циліндра і циліндра з еластичним покриттям при подачі в примежову область через носову щілину водяного розчину поліетиленоксиду. При комплексному впливі одержано підвищення гідродинамічної ефективності в порівнянні із застосуванням окремих факторів.

У результаті еволюції в природі у літаючих і плаваючих об'єктів вироблені різні механізми і пристосування, спрямовані на підвищення ефективності (ККД) або швидкодії, що допомагає виживанню (життєзабезпеченню) різновиду в екологічній ніші. Особливості геометрії зовнішніх обводів ряду гідробіонтів сприяють зменшенню відривних зон і зниженню опору форми. Морфологічні особливості побудови зовнішніх покривів спрямовані на зниження турбулентного тертя. Вони дуже різноманітні і діють на різні області примежового шару [1;2].

У гідробіонтів, які швидко плавають, є пристосування для інжекції біополімера (слизу) через зяброві щілини або зі спеціальних залоз і ампул у специфічних зонах примежового шару, що допомагає істотно знизити опір, щонайменше, на форсованих режимах плавання.

Зовнішні покриви морських тварин, що швидко плавають (дельфінів), і риби (луска акули, меч-риби) мають подовжні мікроскладки, які сприяють організації і підтримці статистично упорядкованих, спрямованих уздовж потоку когерентних вихорових структур у примежовому шарі, що зменшує гідродинамічні втрати.

Також спостерігається утворення в риби гребінцево подібної луски в зоні турбулентного обтікання, причому тільки в області турбулентного потоку [2]. Оскільки висота гребінців менша за допустиму висоту шорсткості і вони на відміну від попереднього випадку не структурують потік, то в цьому разі зубоподібна структура цих лусочок може допомогти утримувати дифузійно активний біополімерний слиз у критичній області біля стінки. Це, з одного боку, дозволяє зменшити витрату (вимивання) гідродинамічно активного полімеру, а з іншого боку, утримуваний полімер утворить тонкий і дуже податливий в'язкопружний шар з досить великим коефіцієнтом поглинання. Тоді він виступає як елемент (1-й шар) складного

(анізотропного) покриття, що, крім демпфіювання, у поєднанні з гребінцями виконує функцію "перевернених" риблет. Це лише один приклад мультифункціональності зовнішнього покриття гідробіонтів.

Причому в живій природі одночасно реалізується і працює комплексно декілька механізмів, спрямованих на зменшення енергетичних втрат при русі в життєвому середовищі.

У техніці також відомі різні засоби керування примежовими течіями [3; 4; 5; 6]. Один із класів охоплює різні прояви, обумовлені наданням обтічній поверхні в'язкопружних властивостей (податливості) [6;7;8;9]. Інший важливий клас впливів на пристінні турбулентні течії визначається додаванням до рідини незначних концентрацій високомолекулярних полімерних домішок – ефект Томса [10]. Однак залишаються практично невивченими комбіновані методи керування примежовим шаром. Спроба пояснення механізму комплексного впливу цих факторів на примежовий шар наведена в роботах [9;11;12;13;14].

Мета проведених досліджень полягає в тому, щоб експериментально оцінити вплив модифікованих граничних умов: спільний вплив податливості стінки і малих домішок у пристінкову область потоку водяного розчину високомолекулярного полімеру на інтегральні характеристики примежового шару в порівнянні з аналогічними при обтіканні твердої поверхні.

Виміри гідродинамічного тертя подовжньо обтічних жорсткого циліндра (еталона) і циліндра з модифікованими граничними умовами здійснювали за допомогою тензодинамометра при буксированні в гідроканалі в діапазоні швидкостей $U = 2,0 - 22,0$ м/с. Діаметр циліндра $d = 0,175$ м, подовження $\lambda = L/d = 6,07$. Числа Рейнольдса змінювалися в межах $10^6 < Re < 2 \cdot 10^7$. Похибка виміру коефіцієнта тертя $\sigma_{\Delta R}$ не перевищувала 5%.

Як тверду стінку використовували металевий циліндр з полірованою зовнішньою поверхнею. За податливу стінку використовували циліндр з еластичним покриттям з поліуретану завтовшки $t/(d/2) = 1,71 \cdot 10^{-2}$ і щільністю $\rho_e = 1250$ кг/м³. Результати вимірів динамічних в'язкопружних характеристик еластомеру в діапазоні частот $0 < \omega < 320$ с⁻¹ наведені в роботі [8]. Статичний і динамічний модулі пружності еластомеру відповідно дорівнюють $1,6 \cdot 10^3$ і $5 \cdot 10^3$ кПа. Коефіцієнт механічних втрат на частотах до 100 с⁻¹ складав 0,53, а на частотах до 300 с⁻¹ зростав до значення 0,7.

Як високомолекулярні полімерні домішки застосовували водяний розчин поліоксиетилену з молекулярною вагою $M_w = 4 \cdot 10^6$ при ваговій концентрації $\alpha = 10^{-3}$. Інжекція розчину полімеру в примежовий шар здійснювалася вздовж дотичної до обтічної поверхні через кільцеву щілину розміром $s = 3,0 \cdot 10^{-4}$ м у носовому обтічнику. На жорсткій і податливій поверхнях проведено відповідно по дві серії експериментів *A* і *B*, що відрізнялися між собою кількістю неньютонівської рідини, яка впорскується в примежовий шар. Розмір коефіцієнта об'ємної витрати поліоксиетилену $C_q = Q/US$ змінювався в залежності від числа *Re*. Коефіцієнт об'ємної витрати визначався як $C_q = Q/US$, де $Q = V/\tau$ – об'ємна витрата розчину полімеру; V – об'єм інжектваного полімеру; τ – тривалість його інжекції; U – швидкість руху буксировального візка; S і L – відповідно площа змоченої поверхні і довжина тензометрованого циліндра; $Re_L = UL/\nu$, (ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості).

Для серії *A*: $C_q \sim 5 \cdot 10^{-5}$ при $Re \sim 2 \cdot 10^6$, $C_q \sim 3 \cdot 10^{-5}$ при $Re \sim 10^7$ і $C_q \sim 2 \cdot 10^{-5}$ при $Re \sim 2 \cdot 10^7$. Для серії *B*: $C_q \sim 4 \cdot 10^{-5}$ при $Re \sim 2 \cdot 10^6$, $C_q \sim 2 \cdot 10^{-5}$ при $Re \sim 10^7$ і $C_q \sim 1,5 \cdot 10^{-5}$ при $Re \sim 2 \cdot 10^7$.

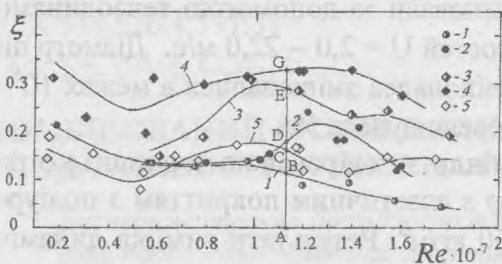
Результати вимірів опору тертя жорсткого й еластичного циліндрів при різних режимах обтікання з подачею на їхню поверхню розчину полімеру низької концентрації показані на рисунку у вигляді залежностей розміру інтегрального ефекту $\xi(Re)$ від числа Рейнольдса

$$\xi(Re) = (C_{x\text{et}} - C_{xi})/C_{x\text{et}}$$

де $C_{x\text{ет}}$ – коефіцієнт тертя еталонної жорсткої поверхні; C_x – коефіцієнт тертя циліндра з модифікованими граничними умовами.

З результатів експерименту видно, що введення невеликої кількості ($C_q \sim (2-5) \cdot 10^{-5}$) високомолекулярного полімеру малої концентрації в турбулентний примежовий шар на жорсткій поверхні призводить до зниження опору тертя, причому ефект більший при більшій кількості домішок. Останнє добре спостерігається в діапазоні $Re > 1 \cdot 10^7$, де чітко видно розходження в розмірі коефіцієнта витрати між серіями А і В. Так задається $C_{qA} > C_{qB}$, і відповідно реєструється $\xi_2 > \xi_1$, тут індекс при ξ відповідає номеру кривої на рисунку. На податливій поверхні спостерігається аналогічна картина – $\xi_4 > \xi_3$. Для експериментальних кривих 1, 3 закон подачі поліоксетилену відповідав витраті $C_q(Re)$ за законом В, для кривих 2, 4 – за законом А.

При комплексному впливі одержано підвищення гідродинамічної ефективності в порівнянні із застосуванням окремих факторів при однакових витратах, тобто відповідно маємо: $\xi_3 > \xi_1$ і $\xi_4 > \xi_2$. При цьому спостерігається адитивність ефектів [12] незалежно від впливу еластичної стінки стосовно жорсткого еталона й від додавання неньютонівської рідини в пристінкову турбулентність на жорсткій межі. Так, з урахуванням похибки експерименту, $AC + AB = AE$; $AC + AD = AG$.



Коефіцієнт зниження опору $\xi(Re)$ за числами Рейнольдса при інжекції полімерних домішок у примежовий шар на твердій (1, 2) і еластичній (3, 4) поверхнях; без полімерних домішок (5) ($C_q = 0$) на еластичній поверхні

деяка видозміна мікроструктури статистично упорядкованих плинів у примежовій області.

Розглядаючи проведений експеримент як моделювання роботи одного з аналогів зовнішніх покривів гідробіонтів, можна зробити висновок про комплексний механізм впливу на потік, що його створюють домішки.

Список літератури

1. Bushnell D.M., Moore K.J. Drag reduction in nature // Annu. Rev. Fluid. Mech.- 1991 – 23 – Р. 65–79.
2. Закономерность в покровах скоростных рыб / С.В. Першин, О.Б. Чернышов, Л.Ф. Козлов и др. // Бионика. – 1976. – № 10. – С. 3–21.
3. Басин А. М., Короткин А. И., Козлов Л. Ф. Управление пограничным слоем судна. – Л. : Судостроение, 1968. – 391 с.
4. Чжен П. (Chang P.K.) Управление отрывом потока. – М.: Мир, 1972. – 552 с.
5. Некоторые вопросы управления пристенными течениями / В.Г. Богдевич, Г.Ф. Кобец, Г.С. Козюк и др. // Прикл. механика и техн. физика. – 1980. – № 5. – С. 99–109.
6. Bushnell D. M. Turbulent drag reduction for external flows // AIAA Pap. – 1983. – № 83-0227. – P.1–20.
7. Kramer M.O. Boundary layer stabilization by distributed damping // J. Am. Soc. Naval Eng. – 1960. – 72, № 1. – P.25–33.
8. Коробов В.И., Бабенко В.В. Об одном механизме взаимодействия эластичной стенки с потоком // Инж.-физ. журн. – 1983. – 44, № 5. – С. 730–733.

9. *Бабенко В.В., Канарский М.В., Коробов В. И.* Пограничный слой на эластичных пластинах. – К. : Наук. думка, 1993. – 264 с.
10. *Пилипенко В.Н.* Влияние добавок на пристенные турбулентные течения. Итоги науки и техники // *Механика жидкости и газа.* – М.:ВИНИТИ АН СССР, 1980. – 15. – С. 156–257.
11. *А.С. 483538 СССР*, Кл. F 15D 1/12. Демпфирующее покрытие/ В.В. Бабенко, Л.Ф. Козлов, В.И. Коробов. – Оpubл. 05.09.75, Бюл. № 33.
12. *Коробов В.И.* О совместном влиянии податливой поверхности и полимерных добавок на интегральные характеристики пограничного слоя // *Тр. III республик. конф. “Проблемы гидромеханики в освоении океана”.* – К.: ИГМ АН УССР, – 1984. – С. 243.
13. *Влияние скорости потока при совместном действии податливой поверхности и полимерных добавок на турбулентное трение / В.М. Кулик, И.С. Погуда, Б.Н. Семенов, Т.И. Юшманова // Изв. СО АН СССР.* – 1987. – 4, № 15– С. 42–46.
14. *Коробов В. И.* Совместное влияние податливости поверхности и полимерных добавок на пограничный слой // *Бионика.* – 1993. – 26. – С. 27–31.

Стаття надійшла до редакції 06.07.01.

УДК 66.047

УДК А 114.408.2

Я.М. Корнієнко

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ГРАНУЛОУТВОРЕННЯ ОРГАНОМІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ У ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ

Наведено результати дослідження процесу зневоднення гетерогенних систем, що містять мінеральні та органічні речовини. Визначено умови проведення стійкого безперервного процесу гранулоутворення та ступінь впливу технологічних параметрів на дисперсний склад псевдозрідженого шару.

Зневоднення гетерогенних систем, розподілених на поверхні твердих частинок, які приводяться у псевдозріджений стан нагрітим теплоносієм, відбувається за рахунок інтенсивного випарювання розчинника, що призводить до кристалізації твердих речовин.

Утворений мікрокристалічний шар має рівномірний розподіл компонентів. Механізм процесу масової кристалізації [1] полягає в тому, що на поверхні твердих частинок рідка фаза розподіляється й утримується сорбційними силами. Внаслідок інтенсивного випаровування розчинника утворюється дисперсна структура дрібнокристалічних солей з розвинутою поверхнею і чисельними активними центрами адсорбції та адгезії. Кристалізація розчину проходить в умовах, далеких від рівноважних, що зумовлює високу швидкість цього процесу і тому велику кількість дефектів кристалічної ґрати. Це, в свою чергу, сприяє співосажденню домішок, які змінюють хімічну активність твердої фази.

Сторонні домішки органічного та мінерального походження прискорюють ріст кристалів, призводять до зміни їхньої форми, змінюють кількість та міцність фазових контактів [1]. У результаті цього гранули, отримані із застосуванням техніки псевдозрідження, набули шароватисту пористу структуру, завдяки чому відбувається рівномірне розподілення різних компонентів по всьому об'єму твердих частинок. Саме ця особливість масової кристалізації була покладена авторами [2] в основу методу одержання комплексних гранульованих органічно-мінеральних добрив при зневодненні і грануляції гомо- і гетерогенних систем із застосуванням техніки псевдозрідження.

На основі попередніх експериментальних досліджень визначені умови проведення процесу зневоднення розчинів сульфату амонію з одержанням гранульованого продукту за рахунок кристалізації робочого розчину на поверхні твердих частинок. Гранульований продукт містив 90% за масою частинок розміром 1,2 – 4,5 мм при механічній міцності до 27 Н на гранулу.