



СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION
TOM 1, НОМЕР 1, 2005, 43-52
УДК 624.014

ЗАСТОСУВАННЯ ПУЛЬСУЮЧОГО СТРУМЕНЯ ДЛЯ КЕРУВАННЯ АЕРОДИНАМІЧНИМ СЛІДОМ ЗА КОЛОВИМ ЦИЛІНДРОМ

Р.І. Кінаш, О.Є. Копилов

*Кафедра "Архітектурні конструкції", Національний університет "Львівська політехніка",
вул. С.Бандери, 12, м. Львов, Україна, 79013
E-mail: rkinash@polynet.lviv.ua*

Отримана 8 липня 2005; прийнята 9 вересня 2005

Анотація. В статті описаний метод активного керування аеродинамічним слідом, який виникає за коловим циліндром з використанням пульсуючих струменів, що викидаються з бічної поверхні. Результатом такого керування має бути ефект зменшення інтенсивності турбуленції в області відривання, а також зменшення ширини вихрової доріжки в сліді за поодиноким циліндром. Метод керування полягає у збуренні напливу інтенсивним викиданням течії з відповідно підбраною частотою через отвори, які виконані вздовж твірних циліндра. Частота збурень змінюється в широкому діапазоні і залежить від частоти виникнення вихорів на поверхні циліндра.

Ключові слова: аеродинамічна труба, коловий циліндр, аеродинамічний слід, турбуленція, пульсуючі струмені.

ПРИМЕНЕНИЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ПОТОКА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ СЛЕДОМ ЗА КРУГЛЫМ ЦИЛИНДРОМ

Р.И. Кинаш, А.Е. Копылов

*Кафедра "Архитектурные конструкции", Национальный университет "Львовская политехника",
ул. С.Бандеры, 12, г. Львов, Украина, 79013
E-mail: rkinash@polynet.lviv.ua*

Получена 8 июля 2005; принята 9 сентября 2005

Аннотация. В статье описан метод активного управления аэродинамическим следом, возникающим за круглым цилиндром, с использованием пульсирующих потоков, выбрасываемых с боковой поверхности. Результатом такого управления должен быть эффект уменьшения интенсивности турбулентности в области отрывания, а также снижение ширины вихревой дорожки в следе за одиночным цилиндром. Метод управления состоит в возмущении потока интенсивным выбросом течения с соответственно подобраной частотой через отверстия, которые выполнены вдоль образующих цилиндра. Частота возмущений изменяется в широком диапазоне и зависит от частоты возникновения вихрей на поверхности цилиндра.

Ключевые слова: аэродинамическая труба, круглый цилиндр, аэродинамический след, турбулентность, пульсирующие потоки.

APPLICATION OF PULSATING STREAM FOR CONTROL OF AN AERODYNAMIC TRAIL OF THE ROUND CYLINDER

R.Kinash, A.Kopylov

Department "Architectural constructions", National university "Lviv polytechnics",

Street S.Bandery, 12, Lviv, Ukraine, 79013

E-mail: rkinash@polynet.lviv.ua

Is received by July 8 2005; is accepted on September 9 2005.

Abstract. The method of fissile control of an aerodynamic trace of a round cylinder with the use of fluctuating flows ejected from the side surface is described in the article. The result of it must be the effect of intensive turbulence decrease in the tearing off phase, and also width reduction of rotational track in a trace behind the solitary cylinder. The method of control is in perturbation of steam by intensive ejection of the current according to the selected frequency through holes which are made along the generator of the cylinder. The frequency of perturbations changes in a wide range and depends on the frequency of curls on the cylinder surface.

Key words: a wind tunnel, round cylinder, aerodynamic trace, turbulence, fluctuating flows.

Вступ

Метою цих досліджень була розробка методу активного керування аеродинамічним слідом (АКС), який виникає за коловим циліндром використовуючи пульсуючі струмені, що викидаються з бічної поверхні.

Результатом такого керування має бути ефект зменшення інтенсивності турбуленції в області відривання, а також зменшення ширини вихрової доріжки в сліді за поодиноким циліндром.

Метод керування полягає у збуренні напливу інтенсивним викиданням течії з відповідно підбраною частотою через отвори, які виконані вздовж твірних циліндра. Частота збурень змінюється в широкому діапазоні і залежить від частоти виникнення вихорів на поверхні циліндра.

Запропонований метод належить до досить великої родини активних способів статичної стабілізації конструкцій у вітровому потоці. Під статичною стабілізацією розуміють зниження рівня аеродинамічних (вітрових) навантажень: локального вітрового тиску, лобового опору, поперечної сили і поздовжнього моменту [1].

Представлена робота є логічним продовженням попередніх праць [2] і була ініційована бурхливим розвитком електронно-технічної галузі. Попередні техніко-економічні розрахунки

свідчать, що широке впровадження запропонованого методу АКС зможе знайти масове застосування внаслідок постійної тенденції до значного здешевлення необхідних складових електронних елементів.

З огляду літературних джерел видно, що для активного керування напливом використовуються різні методи: зміна шорсткості поверхні моделей [3], що опливаються (ефект, як і в запропонованому методі полягає в турбулізації потоку при обтіканні поверхні циліндру), спеціально викликані коливання [4, 5], зміна температури поверхні одного з циліндрів (коли досліджуються декілька циліндрів), а також всмоктування (лобовою поверхнею) і викидання течії (з тильної сторони), що призводить до зсуву пограничного шару¹.

Опис експериментальної установки та моделі

Дослідження виконувалися в гідравлічному каналі Лабораторії Аеродинаміки Варшавської Політехніки.

У циліндрі (рис. 1) вздовж вертикальної осі висвердлені два однакових отвори діаметром

¹Всі ці методи ґрунтувалися на експериментальних дослідженнях.

3 мм, так щоб товщина залишеної стінки Δ становила 1,5 мм. У стінці були висвердлені кожних 3 мм перпендикулярно до вертикальної осі отвори (з однієї і другої сторони циліндра) діаметром 1 мм.

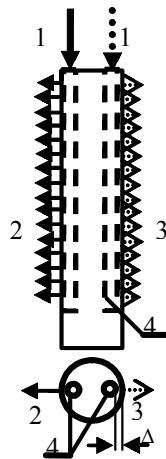


Рисунок 1. Конструкція циліндра, що використовувався в експерименті: 1. Канали, якими надходить вода. 2. Активний водний канал. 3. Неактивний в даний момент часу канал. 4. Отвори.

За допомогою бінарного електромагнітного перемикача (рис. 2) вода із заданою частотою надходила поперемінно то до одного, то до другого каналу.

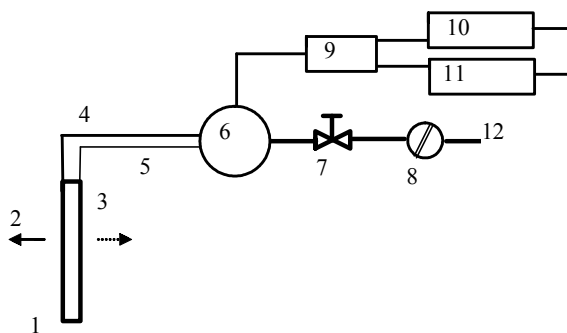


Рисунок 2. Схема влаштування установки для АКС: 1 — циліндр; 2 — активний канал; 3 — альтернативний канал; 4, 5 — канали, якими надходить вода; 6 — бінарний електромагнітний перемикач; 7 — голковий кран; 8 — кран; 9 — управління перемикача; 10 — генератор прямокутного сигналу; 11 — живлення перемикача; 12 — водопровід

Частота роботи системи регулювалася з генератора прямокутного сигналу (рис. 3). Електромагнітний перемикач живився постійною напругою 30В від блоку живлення. Тиск напливу води регулювався високоточним голковим краном.

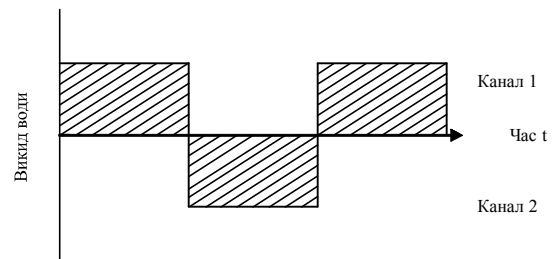


Рисунок 3. Цикл роботи бінарного електромагнітного перемикача з керуванням прямокутним сигналом

За допомогою голкового крана тиск пульсуючої води змінювався від 0 до 20 кПа. Частота пульсації змінювалася в межах від 0,5 до 5 Гц з кроком 0,5 Гц. Швидкість напливання води в гідравлічному каналі складала близько 10 см/с.

Детальний опис гідравлічного каналу та методики виконання візуалізації представлено в роботах [6, 7]. Для поверхневої візуалізації застосовувався порошкоподібний матеріал — лікоподіум.

У порівнянні з класичним опливанням поодинокого циліндра без активного керування (рис. П.1.1) опливання довкола циліндра з запропонованим керуванням буде значно відрізнятися².

Різняться передусім структури вихрових доріжок (білі лінії на всіх фотографіях є траєкторіями руху частинок лікоподіуму, деякі розмитості на фотографіях викликані нерівномірністю освітлення). У разі застосування АКС (див. рис. 2) вихрова доріжка буде більше розбудованою — вона є значно ширшою, вихори в ній більші, зона відривання за циліндром є значно менша. Одночасно, довжина аеродинамічного сліду є набагато менша.

² Всі подані в роботі фотографії виконані авторами статті. На всіх них, напрямок напливу води відбувався з ліва на право.

Під час виходу води через один з каналів у перший момент (рис. П.1.2, а)³ утворюється великий вихор на відстані **1,5D** (зі сторони активного каналу). На відстані **2D** від осі циліндра змінюється напрямок ліній потоку і утворюється нова S-подібна вихрова структура (завихрення в ній скеровані проти напрямку годинникової стрілки). Одночасно з цим з другої сторони циліндра утворюється новий, набагато менший вихор. Частина цього вихру огортає задню стінку циліндра і з'єднується з першим вихором, друга — спливає вздовж поздовжньої осі і утворює нижню частину S-подібного вихра. Максимальна ширина вихрової доріжки складає близько **2,5D**. Для класичного випадку опливання поодинокого циліндра ширина сліду за циліндром не перевищує **1D**.

У наступний момент часу ⁴ (рис. П.1.2, б) вихрова структура, яка почала утворюватися раніше, перетворюється на сильний вихор. На відміну від класичного випадку діаметри всіх вихорів збільшуються.

Коли виведення води з активного каналу закінчується, інтенсивність завихрень з двох сторін циліндра вирівнюється (рис. П.1.2, в) і обидва вихори розпорошуються (рис. П.1.2, г), створюючи умови для повторення початкової схеми (рис. П.1.2, д).

У випадку виведення води з другого каналу всі процеси повторюються і будуть аналогічними до описаних вище.

Із збільшенням тиску води на 25% і постійній частоті пульсації картини візуалізації змінюються мало. Хоча збільшення частоти має набагато більший вплив на картину вихрової структури. Вигляд вихрової доріжки (рис. П.1.3) є більш подібний до класичного випадку (тобто, циліндр не обладнано засобами АКС). Але як і в попередньому випадку, ширина сліду є в два рази більша. Відстань між цими вихорами в цьому випадку становить близько **1,5D**.

Із збільшенням напору води до 20 кПа і частоти до 5 Гц вихрова доріжка в сліді за циліндром розширюється до **2,5D**. Як і в попередньому випадку, за циліндром не виникає область відривання. Механізм утворення вихрової доріжки є надзвичайно подібний до описаного вище (рис. П.1.4).

Для з'ясування впливу чисел Рейнольдса Re і Струхала S_t на форму вихрової доріжки виконано подібні дослідження використовуючи циліндр з двічі більшим діаметром та із збереженням решти параметрів без змін.

У разі такої зміни (число Рейнольдса Re збільшилось з 1600 до 3200) в порівнянні з циліндром без пульсатора спостерігалось зменшення ширини сліду до **1D**, що могло бути викликано впливом близькості бічних стінок каналу (рис. П.1.5).

У разі використання одного активного каналу встановленого чоловою поверхнею в сторону потоку. Коли частоти пульсації є близькими до природної частоти утворення вихорів Кармана ($f_{\text{пульсації}} = 1 + 3f_{\text{відривання}}$) вихрова доріжка буде досить широкою і розбудованою (рис. П.1.6).

У випадку, коли $f_{\text{пульсації}} \approx 10f_{\text{відривання}}$, то форма вихрової доріжки змінюється: доріжка стає більш розмитою (рис. П.1.7) і вихори в ній — слабші.

Нижче представлені результати дослідження впливу сили напору пульсуючої води, а також частоти її пульсації на успішність дії запропонованого засобу.

На рис. П.1.8 представлено фотографії візуалізації циліндра з одним активним каналом при однаковій частоті пульсації і різних напорах води. Із збільшенням напору води на 50 % структура напливу змінюється не набагато. На структуру аеродинамічного сліду частота пульсації має більший вплив ніж напір пульсуючої води.

Про важливість продовження робіт пов'язаних із дослідженням методів АКС свідчить широке зацікавлення цими питаннями науковцями цілого світу. М.І. Казакевич в [1] пише: "Стабілізація конструкцій у вітровому потоці є однією з найбільш важливих прикладних проблем."

У подальших дослідженнях, планується дослідження впливу застосування пульсато-

³ Фотографії а-д на рис. 5 при частоті пульсації води 1 Гц і тиску води близько 7,5 кПа.

⁴ Фотографії виконувалися кожні 3 с.

ра встановленого на одному з стовбурів багато провідних циліндрів.

Висновки

1. Використання двох активних каналів є малоефективним — аеродинамічний слід є ширший і більш збурений у порівнянні зі слідом, який виникає за циліндром не обладнаним жодним з засобів активного керування. Разом з цим спостерігалось значне зменшення довжини вихрової доріжки.
2. Ширина сліду зменшується внаслідок збільшення числа Рейнольдса Re (в досліджуваній області 1300-1600).
3. Виразне зменшення ширини сліду спостерігалось для частоти пульсації порядку в 10 разів вищих від частот утворення вихорів Кармана.
4. Максимальне зменшення ширини сліду за поодиноким циліндром спостерігалось у випадку роботи лише одного каналу направлено під потік.

Література

1. Казакевич М.І. Стабілізація конструкцій у вітровому потоці. // Металеві конструкції. Том 3. №1. 2000 р.
2. Кінаш Р.І., Копилов О.Є. "Методи гасіння коливань димарів викликаних відриванням вихорів типу Бенарда-Кармана" /Вісник ДДАБА "Будівельні конструкції, будівлі та споруди", вип. 2003-2(43), Львів, 2003. - с.162-166.
3. Eaddy M., Melbourne W.H.. Surface roughness and turbulence effects on fluctuating crosswind force correlations for a circular cylinder. Proceedings of the Fourth International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics & Applications. September 11-14, 2000. Ruhr-University Bochum Germany. 2000. - p.107-110.
4. Xu S.J., Zhou Y. A stream wise oscillating cylinder wake in the presence of an upstream cylinder. Proceedings of the 8th International conference on flow-induced vibration. FIV2004, Paris, France, 6-9 July 2004. Volume II. 321-325.
5. Dallaire P.O., Cuesta-Lavoie D., Filion S., Laneville A., Van Dyke P. Flow visualization of critical events of vortex induced vibrations in the case of a long flexible cylindrical tube. Proceedings of the 8th International conference on flow-induced vibration. FIV2004, Paris, France, 6-9 July 2004. Volume II. 249-253.
6. Кінаш Р.І., Копилов О.Є. Визначення коефіцієнта аеродинамічного опору колових циліндрів. Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее. Сборник докладов VIII Украинской научно-технической конференции. Часть 2. - К.: Изд-во "Сталь", 2004. - с.401-406.
7. Kopylov I. Hydrodynamic Interference of Circular Cylinders / *Materialy IV Sympozjum "Wpływy aerodynamiczne na budowlę i ludzi - oddziaływanie, interakcje, dyskomfort"* Kraków, Lublin, Susiec 16 - 18 czerwca 2004. - s.43-48.

Приложение №1.

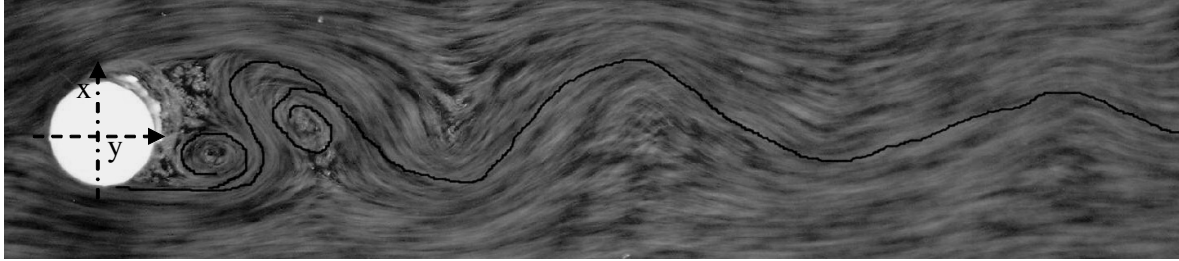


Рисунок П.1.1. Візуалізація опливу поодинокого колового циліндра не обладнаного засобами АКС

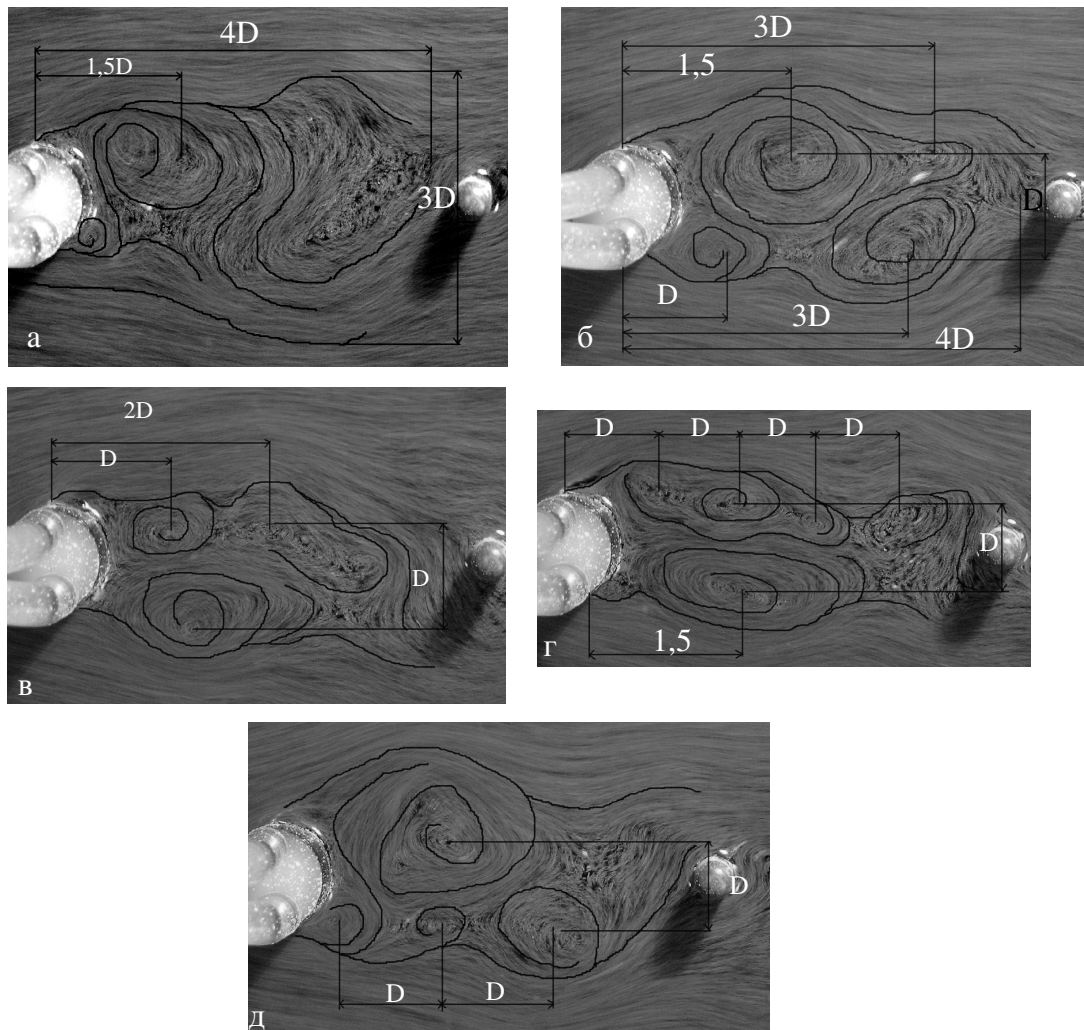


Рисунок П.1.2. Візуалізація опливання поодинокого циліндра обладнаного пульсатором: а, б, в, г, д — фази опливання циліндра

Приложение №1 (продолжение).

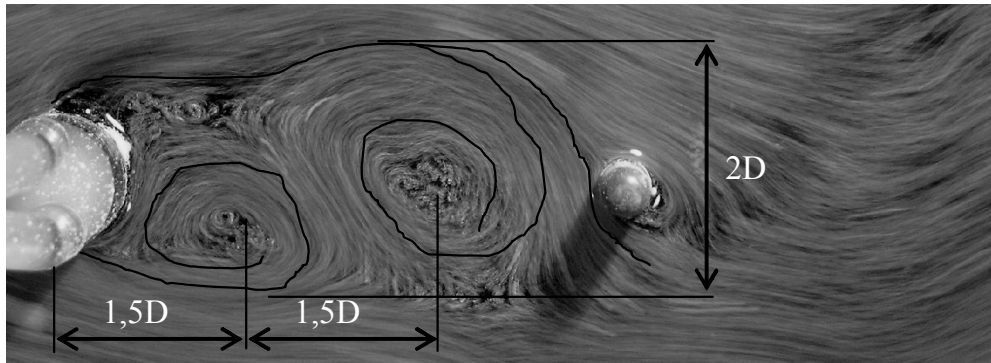


Рисунок П.1.3. Візуалізація опливання поодинокого циліндра з використанням пульсатора при високій частоті ($f=5\text{Гц}$) виведення води з каналів

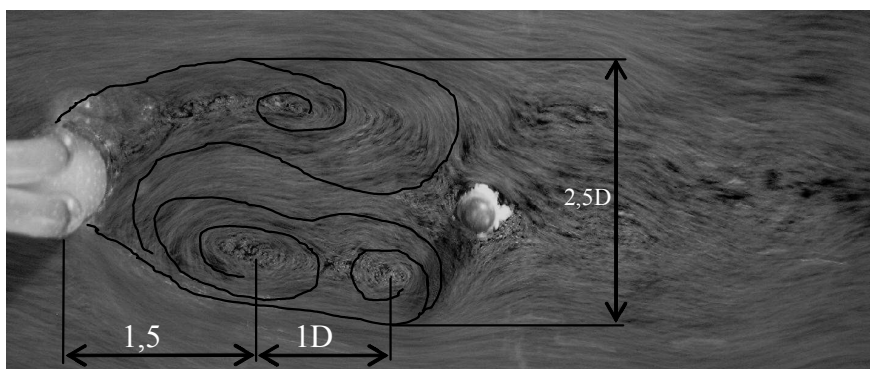


Рисунок П.1.4. Опілювання циліндра обладнаного засобом АКС (частота виведення води 5Гц, напір 20 кПа)

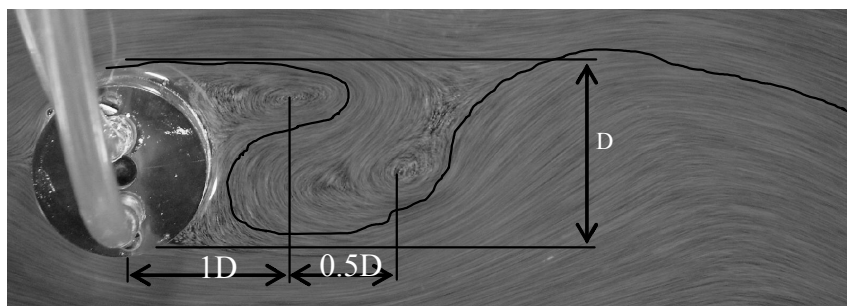


Рисунок П.1.5. Візуалізація опливання поодинокого циліндра з двічі більшим діаметром при збільшенні чисел Рейнольдса Re і Струхала St

Приложение №1 (продолжение).

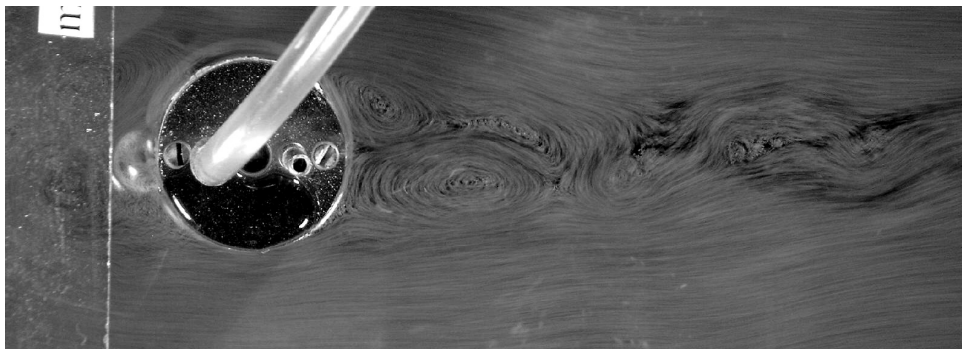


Рисунок П.1.6. Візуалізація опливання циліндра з одним активним каналом (частота пульсації 0,5Гц)

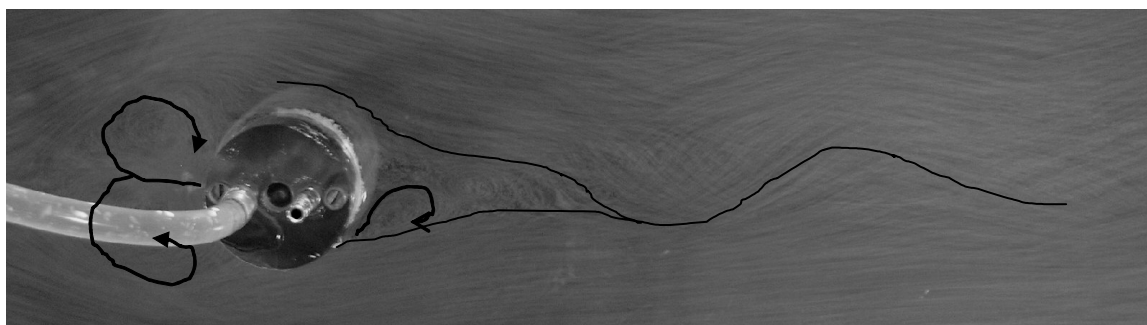


Рисунок П.1.7. Опليвання поодинокого циліндра, з засобом АКС тільки на одному каналі

Приложение №1 (продолжение).

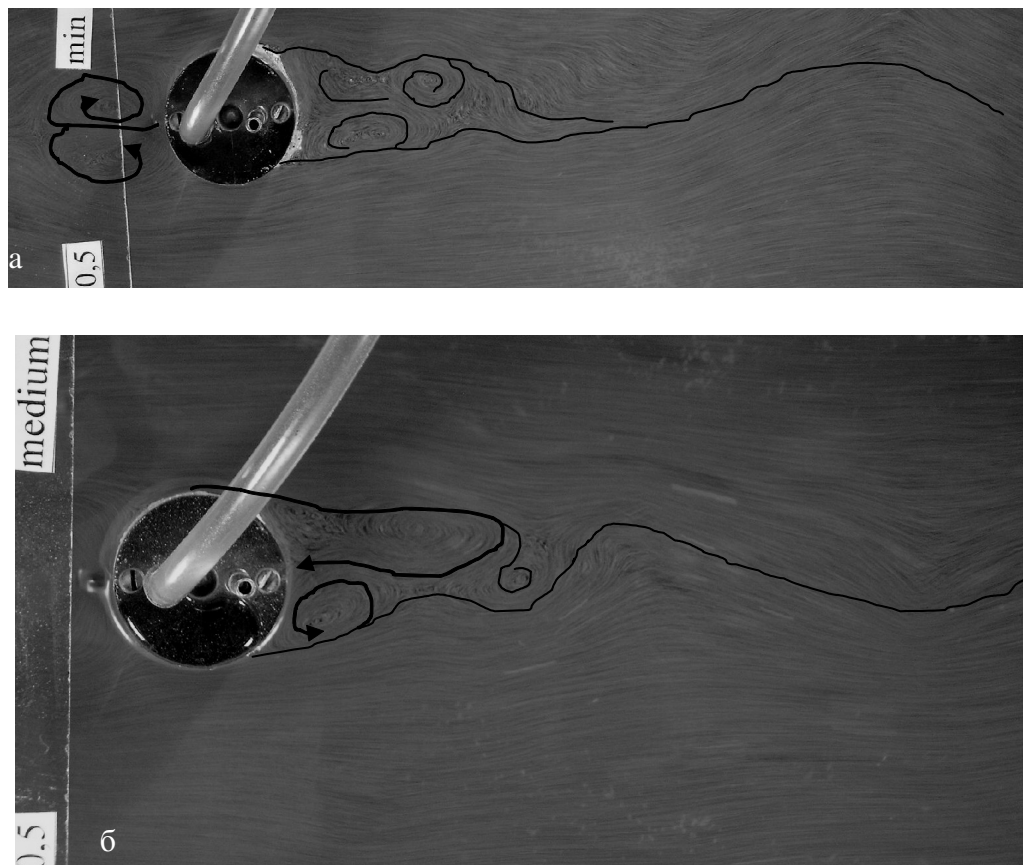


Рисунок П.1.8. Візуалізація опливання циліндра з одним активним каналом для однакових частот пульсації і різних напорів струменів води: а — напір пульсуючої води 7,5 кПа; б — напір пульсуючої води 12 кПа

Кінаш Роман Іванович — д.т.н., професор, завідувач кафедри архітектурних конструкцій Національного університету "Львівська політехніка". Наукові інтереси: теорія надійності, розрахунок, проектування та технічна діагностика залізобетонних конструкцій, оцінка кліматичних навантажень та впливів на будівельні конструкції будівель та споруд.

Копилов Олексій Євгенович — асистент кафедри "Архітектурні конструкції" Національного університету "Львівська політехніка". Наукові інтереси: будівельна аеродинаміка, експериментальні дослідження моделей будівель та споруд в аеродинамічній трубі.

Кинаш Роман Иванович — д.т.н., профессор, заведующий кафедры архитектурных конструкций Национального университета "Львовская политехника". Научные интересы: теория надежности, расчет, проектирование и техническая диагностика железобетонных конструкций, оценка климатических нагрузок и воздействий на строительные конструкции зданий и сооружений.

Копылов Алексей Евгеньевич — асистент кафедри "Архитектурные конструкции" Национального университета "Львовская политехника". Научные интересы: строительная аэродинамика, экспериментальные исследования моделей зданий и сооружений в аэродинамической трубе.

Roman Kinash is the Head of Department "Architectural Structures". Scientific interests: a reliability theory, analyses, design and technical diagnostics of ferro-concrete constructions, estimation of climatic loads and effects on building constructions of buildings and structures.

Oleksiy Kopylov — assistant Professor, Department "Architectural Structures" National University "Lviv politechnics", Civil Engineering Faculty. Scientific interests: building aerodynamics, experimental researches of the patterns of buildings and structures in a wind tunnel.