

Література

1. Тагер А.А. Энергия и энтропия активации вязкого течения концентрированных растворов полимеров [Текст] / А.А. Тагер, Г.О. Ботвинник, В.Е. Древаль // М.: Химия. – 1970. – 296 с.
2. Микаэли В. Экструзионные головки для пластмасс и резины. – Конструкции и технические расчеты [Текст] / В. Микаэли // Санкт-Петербург. Професия. – 2007. – 427 с.
3. Носко С.В. Формуючий пристрій для вводу технологічних компонентів в екструдований матеріал [Текст]: пат. 102591 Україна : МПК В29С47/12 / Носко С.В., Шевчук О.А.; власник Націон. техн. ун-т України «Київський політехн. ін-т. - № 201503942; заявл. 24.04.15; опубл. 10.11.15, Бюл. №21.- 3с.

УДК 532.517 : 533.011

Турик¹ В.М., к.т.н., доц. Воскобійник² В.А., д.т.н., с.н.с., Воскобійник² А.В., к.т.н., с.н.с.
1 – КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна
2 – Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ, Україна

ВИХРОВА ТЕЧІЯ УСЕРЕДИНІ ПОПЕРЕЧНО ОБТІЧНОЇ ТРАНШЕЇ

Досліджено особливості генерації та еволюції вихрових структур, що утворюються усередині поперечно обтічної траншеї різного заглиблення та видовження, яку розташовано на плоскій поверхні. Дослідження були проведені в аеродинамічній трубі та гідродинамічному лотку за допомогою візуалізації потоку в умовах різних режимів течії. В експериментах були використані димова візуалізація, контрастні фарбники та водорозчинні покриття, що дало можливість фіксувати траєкторії руху рідких частинок фото- та відеоапаратурою. Виявлено закономірності формування вихрового руху, визначено місця зародження вихрових структур, здійснено оцінки їх масштабів, зафіксовано частоти та місця викидів дрібномасштабних і великомасштабних вихрових структур, а також структур зсувного шару назовні і траншеї в залежності від режимів обтікання пластини із заглибленням. Усередині поперечно обтічної траншеї при турбулентному режимі потоку, що набігає, виявлено генерування квазістійкого веретеноподібного вихору, притиснутого до передньої відривної стінки заглиблення.

Ключові слова: поперечно обтічна траншея, аеродинамічна труба, гідродинамічний лоток, візуалізація потоку, вихрова структура

Серйозна увага, що приділяється вивченню особливостей вихороутворення усередині заглиблень на обтічних поверхнях, обумовлена широким застосуванням таких поверхонь в авіаційно-космічній техніці, суднобудуванні і теплоенергетиці. В залежності від режимів обтікання та геометричних параметрів заглиблень усередині них формуються різноманітні за формою та інтенсивністю вихрові структури. Генерація квазістійких когерентних вихрових структур (КВС) за допомогою траншей та лунок дає можливість керувати примежовими шарами, що використовується при створенні засобів інтенсифікації тепломасообміну, зниження гідроаеродинамічного опору, вібрацій обтічних поверхонь, а також рівнів шуму при їх обтіканні. Такі КВС, поряд з хаотичним або нестійким дрібномасштабним вихроутворенням усередині заглиблень та їх викидами у зовнішній потік, досить успішно і все більш широко застосовуються в енергозберігаючих технологіях різних галузей промисловості, в яких процеси змішування рідин і газів є основною складовою технологічного циклу. Основні механізми вихроутворення, які притаманні одиночній лунці, зберігаються і в лунках, розташованих в ансамблях, а саме: формування та розвиток зсувного шару, де генеруються вихрові структури, які конвектують униз за потоком та взаємодіють з кормовою стінкою; наявність циркуляційної течії, з якої формуються великомасштабні вихрові системи, що нелінійно взаємодіють з вихровими структурами зсувного шару; тривимірні осциляції вихрового течії усередині лунки з генерацією резонансних мод; викиди вихрових систем назовні з лунок, їх взаємодія із зовнішнім потоком та інші гідродинамічні явища. Тому вивчення особливостей вихрової течії у середині заглиблень, кінематичних та динамічних характеристик вихрової течії, що генерується лунковими поверхнями, є актуальним. Важливим також є визначення оптимальної форми та розмірів заглиблень для заданих умов течії при розробці нових конструкцій обтічних поверхонь, що передбачають

застосування методів пасивного керування примежовим шаром за допомогою лункових генераторів вихорів.

Метою проведених експериментальних досліджень є визначення особливості формування й розвитку КВС усередині та поблизу поперечно обтічної траншеї, яку зроблено на пласкій поверхні. Досліди були проведені в аеродинамічній трубі та гідродинамічному лотку за допомогою візуалізації потоку в умовах різних режимів течії над обтічною поверхнею пластини з локальною неоднорідністю. Для візуалізації потоку використовувались димова візуалізація, контрастні фарбники та водорозчинні покриття, траєкторія руху яких фіксувалася відео та фотоапаратурою, з подальшою обробкою та аналізом відеоматеріалів на графічній комп'ютерній станції.

Вивчалася обтікання поперечно розташованих траншей напівциліндричної та овальної форм заглиблення при відносних значеннях глибини $H/B=0,22\div 0,5$ і видовження $L/B=2\div 8$, де B – ширина, H – глибина і L – довжина траншеї. Детальний опис експериментальних установок наведено у роботах [1–3]. В осьовому перерізі вимірювальної ділянки аеродинамічної труби, в її горизонтальній площині вздовж поздовжньої осі, монтувалася гідравлічно гладка пластина. На відстані $x=0,5$ м від переднього краю пластини була розташована одиночна напівциліндрична траншея або пара траншей шириною $B=0,01$ м та $B=0,019$ м, завдовжки $L=0,081$ м, глибиною $H=0,005$ м та $H=0,0095$ м (заглиблення $H/B=0,5$ та видовження $L/B\approx 8$ і $L/B\approx 4$). Експериментальні дослідження в аеродинамічній трубі проводилися при швидкостях потоку повітря, що набігає, U від $1,0$ м/с до 20 м/с, яким відповідали числа Рейнольдса $Re_x=Ux/\nu$ від $3,2\cdot 10^4$ до $6,4\cdot 10^5$, розраховані за довжиною x пластини до переднього краю траншеї, та $Re_B=UB/\nu$ від 1200 до 24000 , що розраховані за шириною траншеї. Вимірювання характеристик течії термоанемометром показали, що в досліді товщина примежового шару перед траншеєю (δ) змінювалася від $2,6\cdot 10^{-3}$ м до $11,3\cdot 10^{-3}$ м, а товщина втрати імпульсу (θ) – від $0,25\cdot 10^{-3}$ м до $1,5\cdot 10^{-3}$ м. Наприклад, при $Re_x=1,23\cdot 10^5$ викиди вихорів повітряного потоку з напівциліндричної траншеї відбувалися ближче до кормової частини при числах Струхала $Sh=fD/U=0,03\dots 0,06$ ($f=(10\dots 20)$ Гц).

Експериментальні дослідження обтікання водою овальної траншеї на плоскій пластині проводилися у гідродинамічному лотку. Гідравлічно гладка пластина використовувалася в якості обтічної поверхні, на відстані $x=0,8$ м від передньої крайки якої була зроблена локальна неоднорідність у вигляді овальної траншеї, яка складалася з двох сферичних сегментів діаметром $D=0,04$ м, з'єднаних циліндричною вставкою довжиною та шириною D , глибиною $H=0,009$ м (заглиблення траншеї $H/D\approx 0,22$ та її видовження $L/D=2$). Пластина з овальною траншеєю встановлювалася у вимірювальній ділянці гідродинамічного лотка паралельно його поверхні. Під час проведення досліджень глибина потоку складала $0,4$ м, а швидкість течії змінювалася від $0,02$ м/с до $0,5$ м/с, що відповідало числам Рейнольдса Re_x від $2\cdot 10^4$ до $4\cdot 10^5$ та Re_D від 800 до 20000 . В досліді товщина примежового шару перед заглибленням (δ) змінювалася від $0,01$ м до $0,03$ м, а товщина втрати імпульсу (θ) – від $0,001$ м до $0,002$ м. При ламінарній течії над пластинною з обтічною овальною траншеєю усередині її формувався хвилеподібний рух рідини. Верхня частина цього руху на рівні поверхні пластини періодично викидалася над кормовою стінкою траншеї з частотою, якій відповідали числа Струхала $St=(0,02\dots 0,03)$. При перехідному режимі течії ($Re_x=(2\div 4)\cdot 10^5$) спостерігалася генерація великомасштабних та дрібномасштабних вихрових структур у зсувному шарі та у придонній частині овальної траншеї. Усередині овальної траншеї подвійного видовження формувалися комірчасті вихрові системи у вигляді двох пар великомасштабних протилежно обертових вихорів, орієнтованих симетрично і майже вертикально відносно дна заглиблення. Комірчасті вихрові структури здійснювали коливальний рух, та з досягненням верхньої межі заглиблення (зона шару змішування) вертикальні вихори згиналися у напрямку потоку та виносилися назовні з заглиблення у вигляді викидів — великомасштабних структур з частотою $St=0,02\dots 0,06$, а структур зсувного шару із частотою $St=0,3\dots 0,5$. Швидкість

перенесення викинутих з овальної траншеї когерентних вихрових систем, які конвектували униз за потоком, дорівнювала $0,8U$.

Нерідко протилежно обертові вихрові структури об'єднувалися своїми верхніми частинами, формуючи пару аркоподібних вихрових систем. Ці вихрові системи розташовувалися по краях циліндричної частини овальної траншеї. Коли головки аркоподібних вертикальних систем досягали шару змішування, то вони змивалися потоком, утворюючи шпилькоподібний вихор, який звичайно є характерною КВС турбулентних примежових шарів. Ніжки шпилькоподібного вихору розташовувалися усередині траншеї. Під час витягування головка шпилькоподібного вихору виносилася вниз за потоком за межі траншеї, а ніжки його в більшості випадків обривалися несиметрично. У результаті спостерігався викид вихрових структур над областями сполучення циліндричної та сферичних поверхонь заглиблення. Під час руйнування аркоподібних вихрових систем, які генерувалися потоком, що набігає, іноді усередині овальної траншеї асиметричні ніжки, які залишалися поблизу серединного перерізу, об'єднувалися одна з іншою, формуючи новий аркоподібний вихор. Цей вихор з плином часу збільшувався за масштабом, витягуючись у вертикальному напрямку і згинався у поздовжньому напрямку течії. Під час взаємодії з зсувними шаром він викидався з центральної частини траншеї. У цей же час в сферичних частинах траншеї збільшувалися і приймали вертикальне положення кінцеві вихрові системи. Вони, під час руйнування центрального аркоподібного вихору, об'єднувалися з сусідніми протилежно обертовими вихорами, які раніше були ніжками центрального аркоподібного вихору. Таким чином, усередині траншеї знову утворювалися дві пари аркоподібних вихорів, які повторювали еволюцію, описану вище. Іноді спостерігалися викиди вихрових систем одночасно в трьох місцях по довжині поперечно обтічного овального заглиблення. Таке явище обумовлене викидом окремо вертикальних вихорів з сферичних частин траншеї та аркоподібного вихору, який генерувався у серединній частині траншеї. При турбулентному режимі течії усередині поперечно обтічної траншеї генерувався квазістійкий веретеноподібний вихор, притиснутий до передньої відривної стінки заглиблення. Вихрові структури зсувного шару, прямуючи до кормової стінки, частково викидалися назовні з траншеї, а частково, взаємодіючи з кормовою стіною, переносилися у її придонну область та формували веретеноподібний вихор. Візуалізація вихрової течії показала, що викидів великомасштабних вихрових структур, з будь-якої окремої області траншеї не спостерігалось. Уздовж кормової циліндричної частини траншеї спостерігалось майже хаотичне викидання дрібномасштабних вихрових структур за її межі у вигляді вихрової пелени ($St=0,4..0,5$), що здійснювала високочастотні коливання у трьох взаємно перпендикулярних напрямках.

Висновки.

1) Зафіксовано масштаби, місця розташування, еволюція вихорів, періодичність їх викидів та взаємодія з примежовим шаром над пластиною в залежності від режиму обтікання, форми та розмірів траншеї. 2) В умовах ламінарного потоку над пластиною з поперечно обтічною овальною траншеєю усередині останньої вихрової течії не виявлено, натомість спостерігався хвилеподібний рух рідини, інтенсивність якого зростала у напрямку потоку. 3) При перехідному режимі течії ($Re_x=(2\div 4)\cdot 10^5$) спостерігалася генерація великомасштабних та дрібномасштабних вихрових структур у зсувному шарі та у придонній частині овальної траншеї. Усередині овальної траншеї подвійного видовження формувалися комірчасті вихрові системи у вигляді двох пар великомасштабних протилежно обертових вихорів. 4) При турбулентному режимі течії усередині овальної траншеї виявлено формування квазістійкого веретеноподібного вихору, а також викиди дрібномасштабних вихрових структур у вигляді вихрової пелени з високочастотними коливаннями.

Список літератури

1. Турик В.Н. Управление структурой течения внутри полуцилиндрического углубления / В.Н. Турик, В.А. Воскобойник, А.В. Воскобойник // Вісник НТУУ „КПІ”. Машинобудування. – 2016. – Вип. 78. – С. 112–123.
2. Воскобійник В.А. Вихроутворення усередині поперечно обтічної овальної лунки / В.А. Воскобійник // Прикладна гідромеханіка. – 2012. – Т. 14, № 4. – С. 37–46.
3. Турик В.М. Вплив локальних поперечно обтічних перешкод на пульсації швидкості та пристінного тиску / В.М. Турик, В.А. Воскобійник, А.В. Воскобійник // Наукові вісті НТУУ „КПІ”. – 2017. – № 1. – С. 106–114.

УДК 532.5.013

Весков Е.В., начальник группы ГП «КБ «Южное»
ГП «КБ «Южное», г. Днепропетровск, Украина

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОГРАНИЧЕННОЙ ПОГРУЖЕННОЙ СТРУИ

Целью работы являлось определение глубины проникновения и концентрации газа при проникновении струи. Использовались следующие методы расчета многофазных течений: метод расчета многофазных течений для непрерывной и дисперсной фаз (*Two Fluid Model*), метод расчета в котором одна фаза является непрерывной, а вторая гетерогенной полидисперсной (*Multiple Size Group Model*). Проведено сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными и выбран метод, обеспечивающий наилучшее соответствие эксперименту.

Ключевые слова: ограниченная погруженная струя, *confined plunging jet*, *two-fluid model*, *IMUSIG*, *ANSYS CFX*.

При проектировании барботажных колонн и топливных систем летательных аппаратов часто возникает необходимость решения задачи проникновения струи жидкости в покоящуюся жидкость, ограниченную цилиндрической трубой.

Можно выделить четыре различные области течения. В зоне свободной струи жидкость проходит через газовое пространство сверху трубы до погружения в принимающую жидкость. Зона погруженной струи определяется как область, в которой свободная струя вносит газ под свободную поверхность принимающей жидкости. Область вокруг зоны погруженной струи называется зоной перемешивания и содержит рециркуляционный вихрь и затопленную струю, расширяющуюся до стенок трубы. Внутри этой зоны происходит интенсивное перемешивание жидкости и газа с образованием пузырей. Зона однородного двухфазного течения – область с минимальной турбулентностью и пузырьковым режимом течения газо-жидкостной смеси [1].

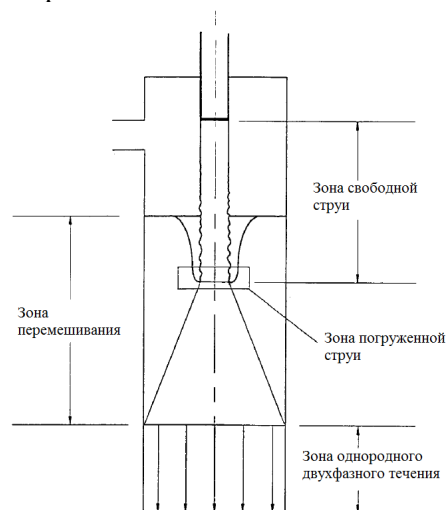


Рис. 1 – Гидродинамические зоны, возникающие при погружении струи в покоящуюся жидкость, ограниченную цилиндрической трубой.