

DOI: 10.32347/2076-815x.2023.82.73-80

УДК 532.542

к.т.н., доцент **Гіжа О.О.**,

gea8@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4878-6850,

к.т.н., доцент **Павлов Є.І.**,

ei@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9487-5136,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПУЛЬСАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК У ТУРБУЛЕНТНИХ ПОТОКАХ

Розглянуто конструкцію двокомпонентного тензометричного датчика для вимірювання пульсаційних характеристик у турбулентних потоках.

Проведено аналіз існуючих моделей пристроїв та показано їхні недоліки, а також вплив цих недосконалих конструкцій на достовірність результатів експериментів та обмежений діапазон частот датчиків.

Відмічено переваги запропонованого пристрою та наведено принцип дії датчика при використанні його для вимірювання поздовжньої та поперечної складових пульсаційних швидкостей у турбулентних потоках.

Ключові слова: турбулентний потік; пульсаційна швидкість; двокомпонентний тензометричний датчик; гідродинамічний тиск; тензонитки; частота коливань.

Постановка проблеми.

Для розробки реалістичної картини явищ, що відбуваються у турбулентних течіях, а також для більш повного розуміння і аналізу турбулентності, необхідна ідентифікація визначальних структур і процесів в турбулентному русі, їхнє представлення за допомогою простих елементів.

Будь-яка спроба розрахувати ефекти турбулентності або створити робочу теорію, що пояснює її механізм, вимагає певного об'єму інформації про реальні турбулентні течії. Тому необхідною умовою для вивчення турбулентності є вміння вимірювати різні її характеристики і параметри, такі, як миттєві зміни швидкості, тиску і т. і.

Для цих цілей використовують різноманітні датчики – пристрої, які сприймають енергію від турбулентних пульсацій і передають її до вимірювальної системи.

Відповідно датчики турбулентності мають бути малими, чутливими і мало інерційними. Крім того, вони не повинні спотворювати величину, що вимірюють.

В гідравлічній практиці при вивченні кінематики турбулентних течій для вимірювання миттєвих швидкостей широко розповсюджені в теперішній час тензометричні датчики, що представляють собою пластину, на яку наклеєні дротяні або плівкові тензорезистори [1, 2, 5, 8]. Основна частина сприйнятого гідродинамічного тиску у таких датчиках йде на утворення напружень у пружній пластині і тільки незначна частина (до 4%) – на створення напружень у тензочутливих елементах [6, 11, 12, 13]. Такі датчики вимагають збільшення розмірів чутливого елемента, що викликає додаткове збудження потоку, а це в свою чергу відображається на точності вимірювань.

Необхідність застосування клею або іншого зв'язуючого компонента при кріпленні тензорезисторів до пружної пластини пов'язано із несприятливими явищами, що зумовлюють повзучість та старіння клею. Це негативно відображається на гістерезисі і стабільності “нуля” датчика, що також знижує достовірність результатів експериментів.

Окрім того, вказані недоліки ще більш посилюються при розробці двокомпонентних датчиків. Так, зокрема, значна маса і геометричні розміри рухливих елементів обмежують частотний діапазон датчика.

Викладення основного матеріалу та результати досліджень.

Для дослідження турбулентних потоків та вимірювання поздовжніх та поперечних складових пульсацій цих швидкостей по перерізу було сконструйовано двокомпонентний тензометричний датчик.

У запропонованому датчику, на відміну від раніше застосованих, в якості чутливих елементів було використано тензорезистори у вигляді натягнутих паралельно один одному константанових дротів. Застосування вказаних елементів дало змогу відмовитися від пружних пластин і клею у конструкції датчика. Видалення пружних пластин дозволяє зменшити переміщення сприймаючого елемента або його розміри, оскільки в даному випадку майже все його зусилля витрачається на створення напружень у тензонитках.

До того ж запропонований датчик є анізотропним до зусилля, що на нього впливає, завдяки однаковим тензониткам та їх симетричному розташуванню у просторі.

Визначення параметрів датчика у статичному режимі проводилося на спеціально сконструйованому для цього пристрої для градування, що дозволяло створювати певні впливові зусилля на сприймаючий елемент за допомогою відповідно розрахованих вантажів.

Схема двокомпонентного тензометричного датчика наведена на рис.1.

Корпус датчика **1** призначений для кріплення інших елементів та вузлів та захисту їх від води. Він виготовлений з латунної трубки, яка закінчується конусною частиною.

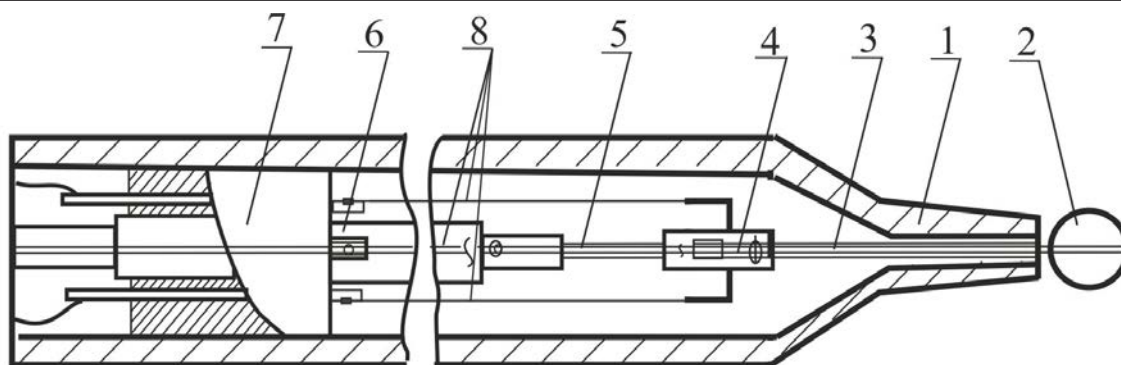


Рис.1. Схема двокомпонентного тензометричного датчика

Сприймаючий елемент **2** зроблений у вигляді кульки діаметром 3мм з матеріалу, густина якого близька до густини води, та сприймає гідродинамічний тиск потоку.

Голка **3** призначена для передачі зусилля від сприймаючого елемента до рухливого вузла кріплення ниток. У даному випадку була використана сталева обміднена голка, що запобігало забрудненню вихідного отвору конусної частини корпусу корозійними відкладеннями.

Рухливий вузол **4** призначений для передачі зусилля безпосередньо на тензонитки. Цей вузол складається з несучої трубки з двома П-подібними латунними дротами, що упаяні взаємно перпендикулярно, і до яких прикріплюються чутливі елементи. У передній частині рухливого вузла фіксується голка за допомогою епоксидної смоли. Для забезпечення заповнення епоксидною масою простору між голкою та внутрішньою поверхньою трубки у стінці останньої було просвердлено отвір. У другій кінець трубки впаяно пружний елемент.

Пружний елемент **5** забезпечує електричний контакт тензониток із загальним виводом та кріплення рухливого вузла до центральної трубки. Він виготовлений із відрізка латунного дроту.

Центральна трубка **6** є несучим елементом кріплення тензониток та виконує роль загального виводу. Поряд з цим, через трубку відбувається заповнення трансформаторним маслом робочої порожнини датчика, що запобігає потраплянню в неї води та забезпечує кращий тепловідвід від тензониток. Центральна трубка являє собою телескопічну конструкцію з мідних та латунних трубок, що спаяні між собою.

Вузол виводів **7** призначений для кріплення тензониток та їхнього контакту із зовнішнім ланцюгом. Він складається з трубчастих мідних виводів, які заформовані в електричному ізоляторі із епоксидної смоли.

Тензонитки **8** забезпечують перетворення зусилля, що діє на сприймаючий елемент, в електричний сигнал. В якості ниток було використано константановий дріт діаметром $5,0 \cdot 10^{-2}$ мм.

Достатня жорсткість чутливої систем, при якій переміщення сприймаючого елемента під дією потоку складало всього 0,1...0,2мм, була досягнута за рахунок попереднього натягу ниток. Кріплення ниток здійснювалося пайкою. Зменшення маси рухливих елементів при більшій жорсткості системи розширює частотний діапазон датчика.

Перевірка динамічних характеристик датчика проводилася за допомогою вібрації його у рідині з частотою f від 10Гц до 60Гц. Амплітуда коливань A реєструвалася на самописці. Динамічне градуювання показало, що у заданому діапазоні зміни частот відхилення амплітуди коливань датчика від середнього значення не перевищувало 2% (рис. 2).

Описаний тензодатчик має частоту вільних коливань у воді більш, ніж 300Гц, що більш ніж на порядок перевищує частоти коливань водного потоку. Це дозволило без особливих динамічних спотворень проводити вимірювання миттєвих та пульсаційних швидкостей турбулентних потоків [3, 4, 9].

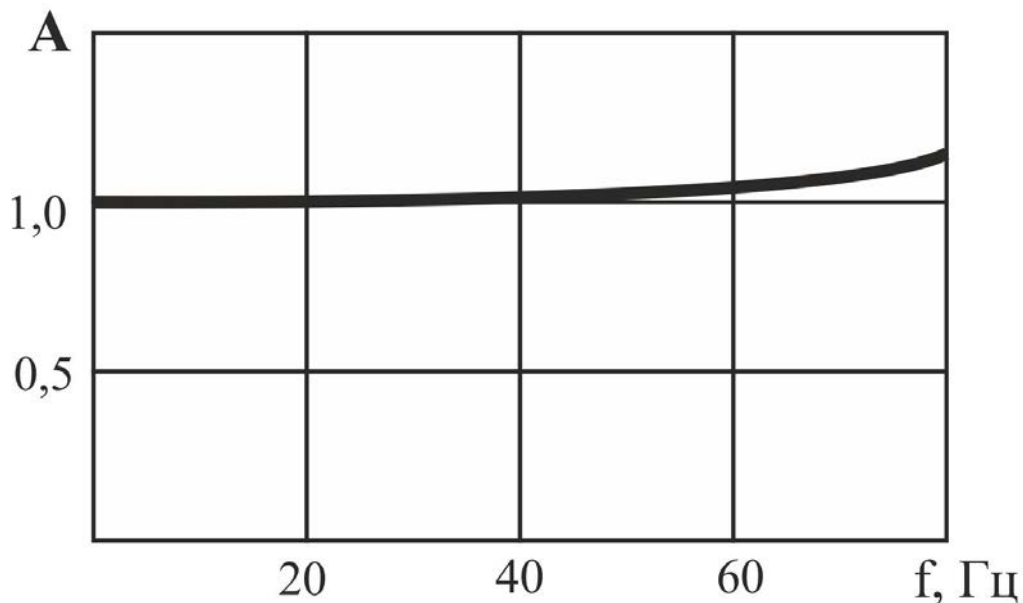


Рис.2. Графік залежностей амплітудно-частотних характеристик тензOMETричного датчика

На рис. 3 показана градуювальна крива датчика, що була отримана експериментально в діапазоні швидкостей від 0,5 до 2,0 м/с.

В ході експериментів було встановлено, що точки, які було отримано при градуюванні першої та другої пари тензониток (поздовжня та поперечна складові швидкостей), практично вкладаються на одну криву.

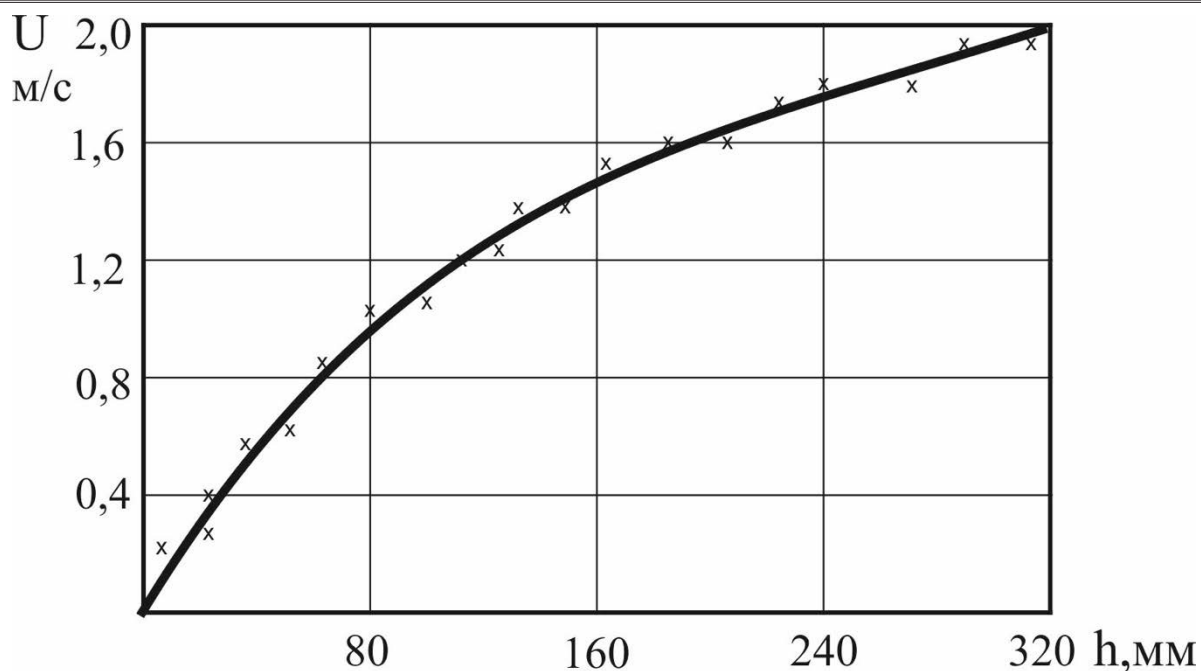


Рис.3. Градувальна крива тензометричного датчика

Принцип дії тензометричного датчика полягає у наступному.

Коли потік рідини обтікає сприймаючий елемент датчика, на нього діють зусилля, що пропорційні швидкості потоку. Ці зусилля через голку передаються на рухливий вузол. В залежності від напрямку і величини сумарного зусилля вузол відхиляється у той чи інший бік на певний кут. При цьому у межах пружної деформації змінюється довжина ниток, та, відповідно, і їхній опір. Оскільки тензонитки включені у попередньо збалансовані вимірювальні мости, то на виході останніх виникає сигнал у вигляді напруги розбалансу. Напруга розбалансу поступає на чотириканальний тензометричний підсилювач, а з його виходу – на реєстратор. В якості реєстратора можна використовувати швидкодіючі самописні пристрої або іншу апаратуру.

У вказаному діапазоні зміни частот реєструючий комплекс дозволив уникнути динамічних спотворень за рахунок своїх лінійних амплітудно-частотних характеристик.

Наявність у конструкції датчика чотирьох відповідно розташованих тензониток дозволила вимірювати як поздовжню так і поперечну складові пульсаційної швидкості турбулентного потоку.

Список літератури

1. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов М.: Мир, 1974. 464 с.
2. Брэдшоу П. Введение в турбулентность и ее измерение. М.: Мир, 1974. 278 с.

3. Гіжа Е.А. Турбулентные характеристики течения на начальном участке в круглом напором трубопроводе. Гидравлика и гидротехника. Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1985, Вып. 40. С. 20 –22.
4. Смыслов В.В., Гіжа Е.А. Релаксационные явления в напорных потоках за местными сопротивлениями. Гидравлика и гидротехника. Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1988, Вып. 47. С. 69 –72.
5. Никитин И.К., Никитина Ф.А. Турбулентные пульсации давления в напорных системах с местными сопротивлениями и метод их расчета. В сб. Стратифицированные и турбулентные течения. Киев., Наукова думка. 1979. С.10 –18.
6. Рейнольдс А.Дж. Турбулентные течения в инженерных приложениях. М.: Энергия. 1979. 408 с.
7. Смольяков А.В., Ткаченко В.М. Измерение турбулентных пульсаций.: Л.: Энергия, 1990. 264 с.
8. Bradbury L.J.S., Castro J.P. A pulsed wire technique for velocity measurement in highly turbulent flows. Journal Fluid mechanic. 1971. 49, P. 657 – 691.
9. Гіжа О.О. Розрахунки коротких трубопроводів з урахуванням стабілізації потоку. // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. К.: КНУБА, 2021, вип.37. С. 13-17. – Режим доступу: <http://wateruse.org.ua> – DOI: <http://wateruse.org.ua>
10. Техническая диагностика гидравлических приводов / Т.В. Алексеева, В.Д. Бабанская, Т.М. Башта и др. под общ. ред. Т.М. Башты. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
11. Клокова Н.П. Тензорезисторы. Теория, методика расчета, разработки. М.: Энергия, 1990 – 224 с.
12. Немец И. Практическое применение тензорезисторов. Пер. с чешск. – М.: Машиностроение, 1970 – 144 с.
13. Макаров Р.А., Ремский А.Б., Боркунский Г.Х. и др. Тензометрия в машиностроении. М.: Машиностроение, 1975 – 288 с.
14. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количеств. Л.: Машиностроение, 1989. - 701 с.
15. Durst F, Melling A, Whitelaw JH (1987) “Theorie und Praxis der Laser-Doppler-Anemometrie”, G. Braun, Karlsruhe.
16. Albrecht H.E., Borys M., Damaschke N., Tropea C (2003) “Laser Doppler and Phase Doppler Measurement Techniques”, Springer, Berlin Heidelberg New-York.

Ph.D., associate Professor **Gizha Olena**,
Ph.D., associate Professor **Pavlov Yevgen**,
Kyiv National University of Construction and Architecture

INSTRUMENT FOR MEASURING PULSATION CHARACTERISTICS IN TURBULENT FLOWS

The paper considers the design of a two-component strain gauge construction for measuring pulsation characteristics in turbulent flows.

The analysis is carried out and the shortcomings of the existing sensor models and their influence on the reliability and accuracy of the experimental results are shown. The limited frequency range of such sensors is also emphasized.

The design of the previous types of sensors is based on a plate on which wire or film strain gauges are glued. In such models, the main part of the perceiving hydrodynamic pressure goes to the formation of stresses in the elastic plate, and only a small part (up to 4%) - to create stresses in the strain-sensitive elements. Such sensors require an increase in the size of sensitive elements, this causes an additional disturbance in the flow, which in turn also reduces the accuracy of the measurement.

The use of glue in the design of the sensor is associated with adverse effects such as creep and aging of the glue.

The proposed sensor used strain gauges in the form of constantan wires stretched parallel to each other, which helped to get rid of elastic plates and glue, and also reduced the size of the sensing element.

A construction of the sensor is shown and its design is described.

The sensor has a free vibration frequency in water of more than 300 Hz, which is more than an order of magnitude higher than the frequency of water flow oscillations. This allows a more accurate measurement of pulsation characteristics.

The principle of operation of the strain gauge is considered.

The presence in the construction of four correspondingly located tensile strands made it possible to measure the longitudinal and transverse components of the pulsation velocities in turbulent flows.

Keywords: turbulent flow; pulsating speed; two-component strain gauge; hydrodynamic pressure; strain gauge; oscillation frequency.

REFERENCES

1. Bendat Dzh., Pirsol A. Izmereniye i analiz sluchaynykh protsessov. M.: Mir, 1974. 464 s. {in Russian}
2. Bredshou P. Vvedeniye v turbulentnost' i yeye izmereniye. M.: Mir, 1974. 278 s. {in Russian}

3. Gizha Ye.A. Turbulentnyye kharakteristiki techeniya na nachal'nom uchaste v kruglom naporum truboprovode. *Gidravlika i gidrotekhnika. Resp. mezhved. nauch.-tekhn. sb.* – 1985, Vyp. 40. S. 20 –22. {in Russian}
4. Smyslov V.V., Gizha Ye.A. Relaksatsionnyye yavleniya v napornykh potokakh za mestnymi soprotivleniyami. *Gidravlika i gidrotekhnika. Resp. mezhved. nauch.-tekhn. sb.* – 1988, Vyp. 47. S. 69 –72. {in Russian}
5. Nikitin I.K., Nikitina F.A. Turbulentnyye pul'satsii davleniya v napornykh sistemakh s mestnymi soprotivleniyami i metod ikh rascheta. V sb. *Stratifikirovannyye i turbulentne techeniya.* Kiyev., Naukova dumka. 1979. S.10-18. {in Russian}
6. Reynol'ds A.Dzh. Turbulentnyye techeniya v inzhenernykh prilozhenikh. M.: Energiya. 1979. 408 s. {in Russian}
7. Smol'yakov A.V., Tkachenko V.M. Izmereniye turbulentnykh pul'satsiy.: L.: Energiya, 1990. 264 s. {in Russian}
8. Bradbury L.J.S., Castro J.P. A pulsed wire technique for velocity measurement in highly turbulent flows. *Journal. Fluid mechanic.* 1971. 49, P. 657-691. {in Russian}
9. Gizha O.O. Rozrakhunky korotkykh truboprovodiv z urakhuvanniam stabilizatsii potoku. // *Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliki.* K.: KNUBA, 2021, vyp.37. S. 13-17. – Rezhym dostupu: <http://wateruse.org.ua> – DOI <http://wateruse.org.ua> {in Ukrainian}
10. Tekhnicheskaya diagnostika gidravlicheskikh privodov / T.V. Alekseyeva, V.D. Babanskaya, T.M. Bashta i dr. pod obshch. red. T.M. Bashty. – M.: Mashinostroyeniye, 1989. – 264 s. {in Russian}
11. Klokovala N.P. Tenzorezistory. Teoriya, metodika rascheta, razrabotki. M.: Energiya, 1990 – 224 s. {in Russian}
12. Nemets I. Prakticheskoye primeneniye tenzorezistorov. Per. s cheshsk. – M.: Mashinostroyeniye, 1970 – 144 s. {in Russian}
13. Makarov R.A., Remskiy A.B., Borkunskiy G.KH. i dr. Tenzometriya v mashinostroyenii. M.: Mashinostroyeniye, 1975 – 288 s. {in Russian}
14. Kremlevskiy P.P. Raskhodometry i schetchiki kolichestv. L.: Mashinostroyeniye, 1989. - 701 s. {in Russian}
15. Durst F., Melling A., Whitelaw J.H. (1987) “Theorie und Praxis der Laser-Doppler-Anemometrie”, G. Braun, Karlsruhe. {in German}
16. Albrecht H.E., Borys M., Damaschke N., Tropea C. (2003) “Laser Doppler and Phase Doppler Measurement Techniques”, Springer, Berlin Heidelberg New-York. {in English}