моделі також дають періодичні рішення з періодом, який приблизно збігається з характерним часом наступу льодовиків.
Корисним також є порівняння зареєстрованих кліматичних змін з теорією динамічних систем. Аналіз змінень об'єму льоду на Землі за останні 800 000 років, які було одержано з ізотопних досліджень глибоководних осадових порід, вказує на те, що еволюція клімату за останій мільйон років може розглядатися як прояв детерміністичної динаміка, яка має хаотичний атрактор (притягуючу множину у просторі змінних) розмірністю більше трьох і менше чотирьох. Тобто у кліматичній системі повинні спостерігатися хаотичні коливання, які характеризуються високою чутливістю до початкових умов і суттєвою непередбачуваністю. Мінімальна розмірність простору, в якому може існувати згаданий атрактор, дорівнює чотирьом. Це означає, що мінімальна кількість змінних, необхідних для опису кліматичної динаміки, дорівнює чотирьом. Але конкретну природу цих змінних поки що встановити не вдається.

Література

1. Біловол О.В., Метеорологія і кліматологія: Навчальний посібник, Харків: ХНАДУ, 2006. – 312 с.

Науковий консультант: Біловол О.В., доц. Каф. Деталей машин та теорії механізмів і машин.

Чернов Вячеслав Миколайович, студент гр. А-23-22
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ ДАЛЬНОСТІ ПОЛЬОТУ ГІДРАВЛІЧНОГО СТРУМЕНЯ

Для гасіння зовнішніх пожеж часто використовуються вільні (незатоплені) гідравлічні струмені, які утворюються за допомогою насадок різної форми і діаметру. Питання розрахунку струменів розглянуто в літературі з гідравліки й протипожежного водопостачання. За напрямом дії розрізняються вертикальні, нахилені та горизонтальні струмені. У разі, коли суцільний водяний струмінь вилітає з насадки з деякою початковою швидкістю і рухається в повітряному просторі подібно до твердого тіла, кинутого під кутом до горизонту, його теоретична траєкторія буде параболою. Внаслідок дії на струмінь сили опору повітря дійсна траєкторія руху струменя відрізнятиметься від теоретичної. Вказана сила діє за дотичною до траєкторії в кожній точці і спрямована убік, протилежний до руху. Урахування цієї сили робиться введенням коефіцієнта опору повітря, який визначається експериментально. У роботі [1] детально розглянуто урахування сили опору повітря залежно від ступеня, у який підноситься швидкість в рівнянні руху струменя.

Струмені горизонтального початкового витікання часто зустрічаються на практиці. Вони виникають при контрольовану зливі рідини з резервуару, аварійному утворенні отворів у стінках судин, заповнених рідиною, при гасінні пожеж, мийці вулиць і доріг рухливими засобами тощо. Тому їхній розрахунок становить практичний інтерес. Для малих початкових швидкостей витікання струменя розглядались варіанти лінійного та квадратичного опору [1], аналізуючи які був зроблений висновок про наближеність сили опору повітря до лінійної залежності.

При аналізі траєкторії польоту гідравлічного струменя в класичному варіанті опір повітря не враховується. В цьому випадку, використовуючи методи теоретичної механіки, отримують траєкторію руху струменя у вигляді параболи. Якщо струмінь вилітає паралельно поверхні Землі, рівняння її траєкторії, за умови пропорціональності сили опору повітря першому ступеню швидкості руху, в декартовій системі координат записується у вигляді [1] при спрямуванні вертикальної осі донизу:

$$y = \frac{1}{2}\left(\frac{g}{V^2} + \frac{k}{2d_{\text{Н}}}\right)x^2,$$

де k – коефіцієнт опору повітря, $d_{\text{Н}}$ – діаметр насадки, V – швидкість витікання струменя з насадки, g – прискорення вільного падіння.

Задачу визначення коефіцієнту опору повітря k, наближеного до істинного в певних умовах, необхідно вирішувати за допомогою експерименту, що складається з серії вимірювань дальності польоту гідравлічного струменя в реальних умовах. Шуканий коефіцієнт представляється у вигляді функції декількох змінних і визначається за формулою:

$$k = 4d_{\text{Н}}\left(\frac{h_{\text{п}} + L_{max} \cdot tg\theta}{L_{max}^2} - \frac{g}{2V^2}\right) = f\left(d_{\text{Н}}, L_{max}, V, h_{\text{П}}, \theta, g\right),$$

в якій $h_{\text{П}}$ – відстань по вертикалі від осі насадки до похилого лотка, θ – кут нахилу лотка, L_{max} – дальність польоту струменя (рис. 1, на якому цифрами позначені: 1 – бак з водою, 2 – вентиль, 3 – похилий лоток, 4 – насадка, 5 – гідравлічний струмінь).

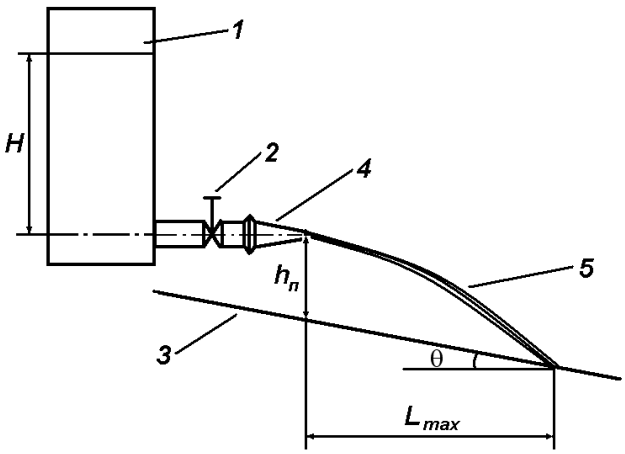

Рисунок 1.

Проте, як і при будь-якому експериментальному дослідженні, виникає проблема, що ніколи не втрачає своєї актуальності і важливості, – проблема точності та достовірності отриманих результатів. Неминучі похибки вимірювань (як систематичного, так і випадкового характеру) шуканих параметрів приводять у разі непрямих вимірювань до великих похибок. Для складних функціональних залежностей внесок похибок при вимірюванні окремих параметрів в загальну похибку є неочевидним і точніший її розрахунок вимагає залучення математичного апарату теорії похибок [2]. При цьому слід розрізняти підхід до цієї проблеми при проведенні одноразових і багаторазових вимірювань.

Отримані результати вимірювань містять систематичну і випадкову похибку. Перша з них в роботі не розглядається, оскільки може бути оцінена при аналізі засобів вимірювань, використовуваних при проведенні необхідних вимірювань. Оцінка другої є складнішим завданням і вимагає залучення математичного апарату теорії похибок. У цій роботі ставиться задача оцінки випадкової складової похибки непрямих вимірювань, аналізу вказаної похибки при проведенні одноразових і багаторазових вимірювань, а також побудови довірчого інтервалу для оцінки коефіцієнта опору повітря при розрахунках гідравлічних струменів.

Для визначення похибок вимірювань на експериментальній установці при деякому постійному напорі H проведено N=10 дослідів, в ході яких проводилися прямі вимірювання діаметру насадки $d_{Н}$, дальності польоту струменя L_{max}, і непрямі вимірювання швидкості V (за результатами прямих вимірювань об’єму рідини W, що витікає за час t, а, отже, і об’ємної витрати Q) витікання струменя.

Вказані параметри є випадковими, на відміну від геометричних характеристик лотка (відстань по вертикалі від осі насадки до похилого лотка $h_{П}$=23,5 см, тангенс кута нахилу лотка до горизонту $tg\theta$=0,121), що приймаються

постійними. Прискорення вільного падіння g=9,81 м/с^2. Обсяг вибірки при кількості проведених вимірювань N відповідно до критерію багаторазових вимірювань вважаємо дуже малим.

Під час проведення експерименту було отримано результати безпосередніх вимірювань і результати розрахунків вказаних параметрів. Вимірювання діаметру насадки проводилися в різних напрямах, що із-за деякої овальності вихідного отвору і привело до розкиду результатів. Значення швидкості V отримано з рівняння нерозривності потоку

$$Q = \frac{W}{t} = V\omega = V\frac{\pi d_{\text{Н}}^2}{4}.$$

Для різної довірчої імовірності β і $N-1$=9 були отримані величини лівої і правої границь довірчого інтервалу для оцінки $\bar{k}$ коефіцієнту опору повітря.

Висновки. В роботі розглянута задача оцінки випадкової складової похибки непрямих вимірювань, аналізу вказаної похибки при проведенні одноразових і багаторазових вимірювань, а також побудови довірчого інтервалу для оцінки коефіцієнта опору повітря. Поставлена задача розв'язана з використанням математичного апарату, що дозволяє оцінити похибки при одноразових і багаторазових вимірюваннях. Побудовано довірчі інтервали для оцінки коефіцієнта опору повітря при визначенні дальності польоту гідравлічного струменя.

Література

1. Єременко, С.А. Розрахунок пожежних гідравлічних струменів [Текст] : навчальний посібник / С.А. Єременко, В.П. Ольшанський, В.М. Халипа та ін. –К.: 2005. – 124 с.
2. Прокопов, О.В. Метрологія, стандартизація та сертифікація [Текст] : курс лекцій / О.В. Прокопов, С.О. Вамболь, І.В. Міщенко. – Х.: НУЦЗУ, 2013. – 274 с.

Шапка Владислав Євгенійович, ст. гр. А-23-22
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Апроксимація похідної при кінематичному дослідженні механізмів

Поняття похідної від функції широко використовується у механіці. Так, наприклад, перша похідна від функції переміщення за часом – це функція швидкості, друга похідна від функції переміщення за часом – це функція прискорення, похідна від функції роботи за часом – це сила чи момент сили.

Визначення похідної від функції є одним із важливих етапів вирішення прикладних завдань і може бути реалізовано аналітично, чисельно або графічно