

УДК 624.042.41

С.Г.КУЗНЕЦОВ, д-р. техн. наук

Донбаська національна академія будівництва та архітектури, м.Макіївка

А.П.БУТОВА

Донецький національний університет економіки і торгівлі

ім. Михайла Туган-Барановського

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБТІКАННЯ ВІТРОМ ЛІНІЙНОЇ ЗАБУДОВИ

Наводиться один із методів експериментального дослідження обтікання вітром лінійної застройки – метод моделювання та проведення експерименту у гідродинамічній трубі. Метою дослідження є виявлення тепловтрат в забудові, які з'являються під час дії вітру на будівлі.

Приводится один из методов экспериментального исследования обтекания ветром линейной застройки – метод моделирования и проведения эксперимента в гидродинамической трубе. Целью исследования является выявление тепловпотерь в застройке, от воздействия ветра на здание.

In the paper the author investigates one of methods of experimental research of wind flowing around linear, the method of design and experimental research in a vertical hydrodynamic tunnel. The research purpose is to expose of heat losses in a built-up area, caused by the wind effect on building.

Ключові слова: температура повітря, швидкість вітру, вітрові навантаження, аеродинамічна труба, число Рейнольдса, моделювання.

Основна маса аеро- і гідродинамічних процесів відтворюються шляхом моделювання. Не дивлячись на це, є дуже мало таких фізичних дисциплін, де розриви між теорією й інженерною практикою був би більше, ніж в області застосування моделей до вивчення гідродинамічних явищ. Учені-теоретики прагнуть залишити в тіні ті незручні факти, які не укладаються слухняно в рамки простої логічної теорії. У той же час інженери, постійно стикаються з дійсністю просто неба і в лабораторії, зазвичай дуже переобтяжені приватними технічними завданнями, і їм практично недоступна участь в академічних дискусіях. Адже легко віддати на словах належне вживання загальновизнаним теоріям, а при вирішенні конструкторських проблем покладатися на досвід та інтуїцію. Метою є зменшення цього розриву шляхом критичного дослідження проблеми в цілому з обох точок зору.

Рациональна гідродинаміка прагне приблизно передбачити рух реальної рідини шляхом вирішення крайових задач для відповідних систем диференціальних рівнянь з граничними умовами. При складанні цих рівнянь як аксіоми приймають закони руху Ньютона.

Передбачається також, що дана рідина усюди безперервна, і що на будь-яку частину поверхні діє сповна певний тиск або яка-небудь інша

внутрішня напруга (сила, що доводиться на одиницю площі), яка, принаймні, локально, є функцією координат, часу і напрямку, що диференціюється. Нарешті, встановлюється зв'язок цієї напруги з рухом рідини за допомогою введення різних параметрів, що характеризують дану речовину (щільність, в'язкість і т.д.), і функціональних залежностей (закон адіабатичного стискування і т.п.). Виходячи з таких допущень, математиків склали системи диференціальних рівнянь для різних рідин, що ідеалізувалися (нестискуваною нев'язкою, стискуваною нев'язкою, нестискуваною в'язкою і т.д.).

Математиків легко переконати себе в тому, що теоретична гідродинаміка в основному непогрішима [3, 4]. Так, Лагранж писав у 1788 р.: «Ми зобов'язані Ейлерові першими загальними формулами для руху рідин... записаними в простій і ясній символіці граничних утворених. Завдяки цьому відкриттю вся механіка рідин звелася до питання аналізу, і будь ці рівняння інтегрованими, можна було б у будь-якому випадку повністю визначити рух рідини під впливом будь-яких сил...». Багато з відомих математиків, від Ньютона і Ейлера до наших днів, штурмували завдання теоретичної гідродинаміки, вірячи в це. І в їх дослідженнях, що часто надихаються фізичною інтуїцією, були введені деякі з найбільш важливих понять теорії рівнянь в граничних утворених: функція Гріна, вихрова лінія, характеристика, область впливу, власні функції, стійкість, «коректність» завдання – такий неповний список.

На ділі у ряді випадків рівняння Ейлера проінтегрували, але результати розрахунків різко розходилися із спостереженнями, що явно суперечить думці Лагранжа. У гідродинаміці такі безперечні протиріччя між експериментальними даними і висновками, заснованими на правдоподібних міркуваннях, називаються парадоксами.

Ці парадокси були предметом багатьох гострот. Так, недавно було сказано, що в дев'ятнадцятому столітті «гідродинаміки розділялися на інженерів-гідраліків, які спостерігали те, що не можна було пояснити, і математиків, які пояснювали те, що не можна було спостерігати». Тепер зазвичай заявляють, що подібні парадокси виникають із-за відмінності реальних рідин, що мають малу, але кінцеву в'язкість, від ідеальних рідин, що мають нульову в'язкість.

Рівняння Ейлера і Лагранжа є основоположними в описі процесів, що відбуваються в рідині. Хай $u = u(x, t)$ означає компонент швидкості рідини в точці x у момент часу t . Хай $\rho(x, t)$ означає щільність рідини, $g(x, t)$ – зовнішнє гравітаційне поле і $p(x, t)$ – тиск в рідині. Закон течії відповідає наступному рівнянню (рівняння нерозривності):

$$\operatorname{div}(\rho \mathbf{u}) + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0. \quad (1)$$

Інспекційний аналіз має наступні переваги: він дає нам можливість виправдати припущення аналізу розмірності, дозволяючи перевірити інваріантність рівнянь, що визначають дане крайове завдання, а також дозволяє розглядати «подібність» не лише такого простого вигляду, як (1). Крім того, аналіз розмірності не дає підстави а ргіорі вирішити питання про те, чи визначають змінні Q_1, \dots, Q_n величину Q_0 досить точний.

Так, Бріджмен помічає побіжно, що це кардинальне питання «не може бути дозволений філософом на кафедрі», а його можна вирішити лише на основі фізичного досвіду. Проілюструємо це ускладнення експериментальним матеріалом. Для того, щоб перевірити справедливості інспекційного аналізу, в принципі можна діяти таким чином. Хай відомо, що деякий перебіг рідини можна приблизно розрахувати, вирішивши відповідне крайове завдання. Тоді можна просто перевірити інваріантність диференціальних рівнянь і крайових умов відносно перетворень деякої групи (2), якщо вони інваріантні і крайове завдання коректно поставлене.

$$x'_i = \alpha x_i, \quad t' = \beta t, \quad m' = \gamma m. \quad (2)$$

Таким чином, інспекційний аналіз має ту перевагу, що він укладається в загальну схему теоретичної гідродинаміки. Основне обмеження, що накладається на його використання, обумовлене тією обставиною, що все ще дуже мало завдань теоретичної гідродинаміки зведені до таких крайових завдань, коректність яких доказова.

Експериментальна гідродинамічна установка ГДТ-2М Київського державного авіаційного інституту (рис.1) призначена для дослідження аеродинамічних спектрів обтікання моделей, що випробовують аеродинамічні дії [5-7], визначення поля швидкостей обуреного потоку довкола моделей, проведення попередньої оптимізації аеродинамічної компоновки моделей, а також дослідження впливу місцевих удосконалень на аеродинаміку моделей [8-10].

В основу аналізу особливостей двовірного і об'ємного стаціонарного і нестаціонарного обтікання покладено визначення впливу зміни частоти і положення осі коливань на фізичну картину обтікання моделі лінійної забудови будівель. Результати експериментів в гідродинамічній трубі є основоположними для розвитку чисельної моделі аеродинамічних досліджень з метою вивчення загального обтікання будь-якої будівлі або групи будівель.

Установка побудована за розімкненою схемою з вертикальною робочою частиною і має безперервний цикл роботи. Робочим тілом установки є вода. Розміри робочої частини ГДТ-2М складають

$0,3 \times 0,3 \times 0,8 \text{ м}^3$. Швидкість потоку в робочій частині змінюється в діапазоні $0,05 \div 0,15 \text{ м/с}$, що відповідає числам $Re \approx 10^3 \div 10^4$.

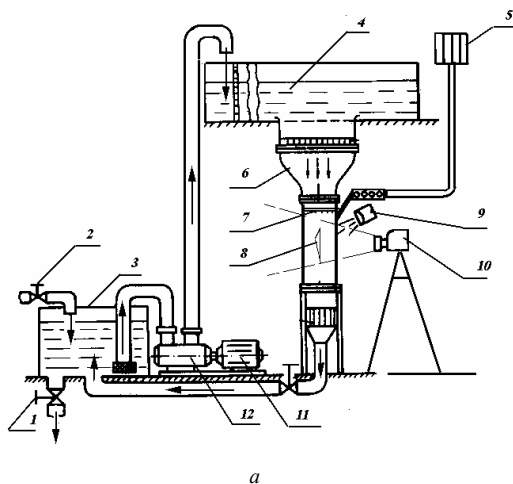


Рис.1 – Схема (а) і фото (б) гідродинамічної установки ГДТ-2М:

1 – кран зливу робочої рідини; 2 – наливний кран; 3 – витратний бак; 4 – напірний бак; 5 – смітник для фарбників; 6 – сопло; 7 – гребінка для подачі фарбника в потік; 8 – досліджувана модель; 9 – освітлювач; 10 – відеокамера; 11 – електромотор; 12 – відцентровий насос.

Установка забезпечує плавність і рівномірність потоку по всіх перетинах робочої частини, що дозволяє отримувати стійкі картини обтікання досліджуваних тіл. Для візуалізації потоку використовуються метод фарб і метод водневих бульбашок, а також дрібнодисперсний алюмінієвий порошок.

Розміри моделі (висота $h = 0,12 \text{ м-кодів}$, ширина $b = 0,03 \text{ м-кодів}$) підібрані так, щоб кінцеві перетікання не впливали на картину обтікання центрального перетину. Модель (рис.2) виготовлена з твердого полістиролу і забарвлена в білий колір для кращого перенесення кольорів спектрів обтікання при зйомці.

Методика проведення експериментів в гідродинамічній трубі полягала в наступному. Модель встановлювалася в гідродинамічну трубу на спеціальному електромеханічному пристрої, розташованому на зовніш-

ній стороні задньої стінки робочої частини, який дозволяє здійснювати обертання моделі відносно центру компоновки і відносно власної осі.

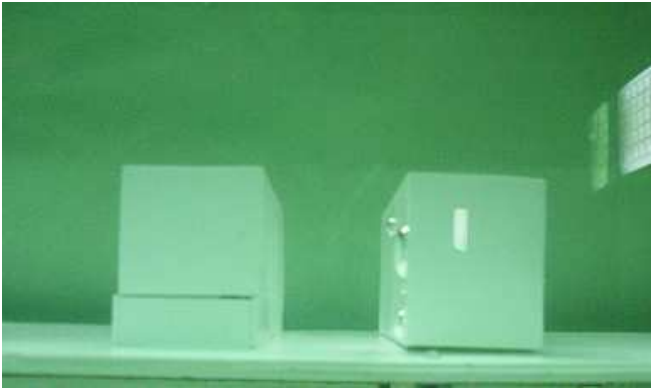


Рис.2 – Модель для проведення досліджень у гідродинамічній трубі

Робоча частина за допомогою насоса заповнювалася водою. Витратним краном в робочій частині гідродинамічної труби встановлювалася необхідна в експерименті швидкість потоку ($V_{\infty} = 0,05 \text{ м/с}$, $Re \approx 1 \cdot 10^4$).

В процесі експерименту в робочу частину труби з «гребінки» і з дренажних точок моделей у вигляді тонких цівок підфарбованої рідини випускався фарбник, візуалізуючи тим самим обтікання моделі і сліду в заданому діапазоні кутів атаки (рис.3).

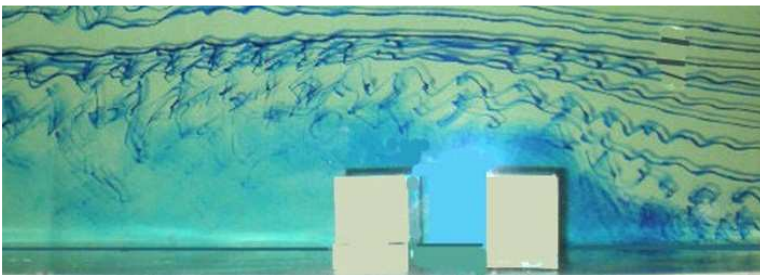


Рис.3 – Об'ємна візуалізація потоку способом дренажу моделей

В основу аналізу вивчення особливостей двовірного і об'ємного стаціонарного і нестационарного обтікання належить визначення впливу зміни частоти і положення осі коливань на фізичну картину обтікання моделі лінійної забудови будівель.

При визначенні компоновки забудови і проектуванні будівель і споруджень одного з основних завдань є визначення аеродинамічних

характеристик. На практиці це завдання вирішується з використанням теоретичних і експериментальних методів. Проте, найбільш надійні дані про аеродинамічні характеристики об'єкту можуть бути отримані шляхом експериментальних досліджень в аеродинамічних трубах або натурними експериментами. Проте в даний час придумуються усе більш оригінальні конфігурації забудов, де змінюється відстані між будівлями, висоти і багато що інше. Істотне збільшення витрат на виготовлення аеродинамічних моделей і функціонування аеродинамічних установок утрудняє використання експериментальних методів для здобуття аеродинамічних характеристик в широкому діапазоні зміни геометричних параметрів, чисел Рейнольдса.

На відміну від експериментальних методів вартість здобуття аеродинамічних характеристик теоретичними методами постійно падає. Цей процес пов'язаний із збільшенням швидкодії і об'єму пам'яті ЕОМ, зниженням вартості машинного часу, а також з розробкою нових ефективних методів вирішення рівнянь, що описують поле течії біля будівлі (споруди). Тому останніми роками теоретичні методи в проектуванні будівель грають усе більш значну роль. Їх вживання особливе ефективно, коли з декількох альтернативних варіантів треба вибрати один для детальнішого опрацювання, що проводиться, в тому числі й експериментальними методами.

Експериментальні і чисельні дослідження є, як правило, досить складними, а отримана в результаті їх проведення інформація часто використовується вже після того, як будівля, споруда або їх комплекс побудовані. Для виконання оперативних розрахунків аеродинамічних характеристик будівель доцільно використовувати порівняно прості наближені методи і програми розрахунку, що забезпечують достатню для інженерної практики точність при мінімальних витратах часу підготовки вихідних даних і машинного часу. В зв'язку з цим, як у нас в країні, так і за кордоном продовжуються роботи по вдосконаленню існуючих і розробці нових методів розрахунку, заснованих на використанні експериментальних і статистичних даних. Ці методи ґрунтуються на результатах попередніх теоретичних, розрахункових і експериментальних досліджень і апробовані шляхом систематичного порівняння їх з точними рішеннями і результатами експериментів. Такі методи не можуть врахувати всіх особливостей обтікання і не є альтернативою складнішим і точнішим, але в той же час і істотно більш трудомістким методам і програмам, а лише доповнюють їх на вказаних вище етапах проектування і проектних досліджень.

Коефіцієнти вітрового тиску, отримані з експериментів в аеродинамічній трубі, було використано для розрахунку рівня зміним повітря і

пов'язаних з ним тепловтрат для повномасштабного будинку, що дозволило встановити, як на них можуть впливати оточуючі будівлі і кліматичні умови (швидкість вітру і температура повітря). В результаті цього було обрано оптимальні в теплотехнічному відношенні рішення для комплексного підходу до теплозахисту і дотримання теплового комфорту приміщень, які гарантують мінімальні річні витрати на обігрівання.

1.Борисенко М.М. Вертикальные профили ветра и температуры в нижних слоях атмосферы // Труды ГГО. – Вып.320. – М., 1974. – С.70-79.

2.Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения. – М.: Стройиздат, 1984. – 360 с.

3.Моделирование турбулентных течений / И.А. Белов, С.А. Исаев. – СПб.: Балтийский гос. ун-т, 2001. – 254 с.

4.Кузнецов С.Г. Чисельне моделювання вітрових навантажень висотних будівель / С.Г. Кузнецов // Наукові нотатки: Міжвуз. зб. – Луцьк: Луцьк. держ. техн. ун-т, 2008. – С.168-173.

5.Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974. – 528 с.

6.Бедаш С.Н., Борисов А.В., Гагарин В.Г., Гувернюк С.В., Козлов В.В., Петров Д.Н. Расчет аэродинамики и дождевого увлажнения стен высотных зданий // Науч. конф. «Ломоносовские чтения». Секция механики. – М.: МГУ, 2005. – С.252-258.

7.Исаев С.А., Судаков А.Г., Харченко В.Б., Усачов А.Е. Численное моделирование турбулентных отрывных течений в задачах внешней аэродинамики с помощью многоблочных вычислительных технологий. Модели и методы аэродинамики // Материалы VI Междунар. школы-семинара, Евпатория, 5-14 июня 2006 г. – М.: МЦНМО, 2006. – С.110-111.

8.Управление обтеканием тел с вихревыми ячейками в приложении к летательным аппаратам интегральной компоновки (численное и физическое моделирование) / Под ред. А.В. Ермишина и С.А. Исаева. – М.: МГУ, 2003. – 154 с.

9.Табунщиков Ю.А., Шилкин Н.В. Аэродинамика высотных зданий // АВОК. – 2004. – №8. – С.79-83.

10.Гутников В.А., Кириякин В.Ю., Лифанов И.К., Сетуха А.В. Математическое моделирование аэродинамики городской застройки. – М.: ПАСЬВА, 2002. – 116 с.

Отримано 09.03.2012

УДК 629.02.004.26 : 624

Р.Б.ТКАЧЕНКО, канд. техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ РАМОЙ

Рассматривается возможность использования сочлененных самосвалов в условиях бездорожья, а также инновации, перспективы развития в данном виде строительной техники для строительства и ремонта трубопроводов в отрасли городского хозяйства.

Розглядається можливість використання зчленованих самоскидів в умовах бездоріжжя, а також інновації, перспективи розвитку в даному виді будівельної техніки для будівництва і ремонту трубопроводів у сфері міського господарства.