

БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПІД ЧАС ТЕСТУВАННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТА

*Балобан А. Ю., студ. (гр. АК-12, НН ІАТ КПІ ім. Ігоря Сікорського);
Арламов О. Ю., ст. викл. (каф. ОППЦБ, КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Анотація. Опрацьовані питання безпеки проведення аналізу характеристик досліджуваного об'єкта в аеродинамічній трубі, можливі ризики, пов'язані з конструкцією випробувального апарату та технологією проведення тестування. Запропонований перелік передбачуваних небезпек та заходи, спрямовані на збереження життя та здоров'я персоналу під час проведення досліджень.

Ключові слова: аеродинамічна труба, обладнання, збій, розгерметизація, безпека праці, правила проведення аналізу.

Abstract. The safety concerns associated with analysing the characteristics of an object under investigation in the wind tunnel, as well as the potential hazards associated with the design of the test apparatus and testing technology, have been thoroughly examined. A list of predicable hazards and measures aimed at safeguarding the lives and health of personnel during research is proposed.

Keywords: wind tunnel, equipment, failure, depressurization, labour safety, analysis conducting rules.

Вступ. Випробування певного об'єкту чи комплексу об'єктів для виявлення аеродинамічних характеристик та поведінки в потоці виконується за допомогою аеродинамічних труб. Таким чином, роботу з даними агрегатами можна віднести до дослідницьких та експериментальних робіт. Оскільки аналіз поточного стану виробу та моделей, що знаходяться в розробці, здійснюються для літальних апаратів, автомобілів, будівельних конструкцій, спортивного знаряддя, тощо на дозвукових та надзвукових швидкостях, конструкція аеродинамічної труби є досить складною. Таким чином, безпосередній вплив на безпеку роботи при проведенні даних досліджень можуть мати як технічні несправності та недотримання правил експлуатації, так і особливості функціонування аеродинамічної труби, що можуть нести шкоду здоров'ю людини. Саме тому необхідно звернути увагу на особливості максимального забезпечення роботи за наявних умов.

Аналіз стану питання. Враховуючи той факт, що перші аеродинамічні труби датуються кінцем 19-го століття, наразі вже існують чіткі вимоги до безпеки при проведенні досліджень.

Серед міжнародних стандартів, що регулюють роботу з аеродинамічними трубами: ISO 1996, стандарти OSHA (Occupational Safety and Health Administration), що встановлюють допустимі рівні шуму при роботі; українські норми ДБН В.1.2-10:2021, які регламентують безпечні рівні шуму та вібрації; ISO 5801 для стандартизації методів випробування вентиляторів аеродинамічних труб та ASME PTC 19.5 від Американського товариства

інженерів-механіків, який регулює методи випробувань та вимірювань під час роботи з аеродинамічними трубами.

Тим не менш, механічні небезпеки, аварії, пов'язані з електрикою, підвищеним тиском, високими швидкостями та температурами, великими аеродинамічними силами та шумове забруднення є факторами ризику. Наприклад, навіть шум у межах стандартів може бути шкідливим для здоров'я персоналу. Проте, його зниження до безпечних для людини діапазонів не є можливим. Таким чином, виникає необхідність у впровадженні засобів індивідуального захисту та посадових інструкцій щодо його використання для працівників.

Мета роботи: на основі аналізу конструкції та технології проведення експериментів в аеродинамічній трубі та наявних рекомендації з техніки безпеки під час досліджень, запропонувати заходи безпеки, спрямовані на зниження ризику травмування під час роботи з оцінки аеродинамічних характеристик об'єкта.

Методики, матеріали і результати досліджень. Аеродинамічна труба – це спеціальна установка для дослідження поведінки об'єктів у повітряному потоці. Вона створює контрольований потік повітря, що дозволяє досліджувати опір, підйомну силу та інші аеродинамічні характеристики різних об'єктів, таких як автомобілі, літаки, будівлі тощо.

Метою виконання експериментів в аеродинамічній трубі є перевірка аеродинамічних концепцій у контрольованому середовищі з використанням методів візуалізації та/або вимірювання. У якісній аеродинамічній трубі відбувається обтікання моделі рівномірним потоком повітря, мінімізуючи перешкоди та турбулентність, які можуть негативно вплинути результати [1].

Людиною, що вперше винайшла та проводила експерименти в аеродинамічній трубі, вважається Френсіс Герберт Венхем. Поряд з внеском одного із засновників Ради Аеронавігаційного товариства Великої Британії у вивчення аеродинаміки літальних апаратів стоїть і будівництво першої у світі аеродинамічної труби в 1871 році [2]. Оскільки в первісній моделі труби застосовувався вентилятор, що приводився в рух паровим двигуном, в той самий час виникли перші правила техніки безпеки при роботі з агрегатом.

У сучасному світі аеродинамічна труба активно використовується для перевірки обтікання потоками повітря цілого різноманіття виробів: автомобілів, авіаційної техніки, архітектурних та енергетичних споруд, турбін, спортивного знаряддя, а також запровадження принципів природної вентиляції в новобудовах житлового та промислового типів, перевірки ефективності роботи витяжок, повітряних вентиляторів, повітрозабірників та систем димовидалення.

В Україні аеродинамічні труби використовують, зокрема на Державному підприємстві «Антонов» та в Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» (надзвукова аеродинамічна труба Т-6) [3].

Для досягнення вищезгаданих цілей досліджень, моделі аеродинамічних труб нових поколінь стають більшими, потужнішими, складаються з більшої

кількості деталей, що підвищує ризик несправностей та травмування осіб, відповідальних за виконання експериментальних робіт.

За структурою у аеродинамічній трубі для дослідження великогабаритних об'єктів (рис. 1) можна виділити такі елементи:

- Вентилятор – секція на початку конструкції, яка створює потік повітря.
- Випрямляч потоку, що вирівнює потік повітря перед його входом у тестову камеру.
- Диффузор – відповідає за розширення потоку повітря після тестової камери.
- Випробувальна (тестова) камера – секція у центрі аеродинамічної труби, в якій розміщена модель для випробувань. Тут швидкість повітря може бути стабільною від 2 до 100 км/год [4].
- Колектор – зона за випробувальною камерою, що збирає повітря після проходження тестової секції.
- Антивихровий фільтр – знижує турбулентність до менш ніж 2% [4].

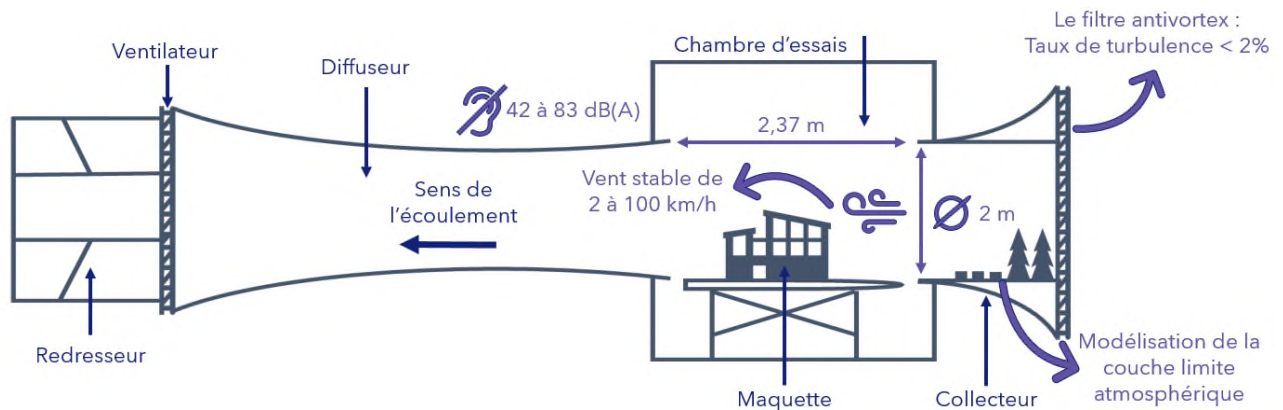


Рис. 1. Ключові особливості аеродинамічної труби [4]

Хоча застереження деяких небезпек внаслідок використання установки враховується у проектуванні аеродинамічних труб, ризики розгерметизації частин конструкції, термічного, звукового та механічного ураження дослідницької групи, ураження струмом, все ще залишаються досить серйозними і мають бути визначальними у розробці техніки безпеки при користуванні системами моделювання набігаючих потоків повітря.

Загальний алгоритм дій під час виконання досліджень в аеродинамічних трубах можна описати як:

1. Проведення підготовчих робіт, розрахунків, виготовлення моделі.
2. Розміщення зразка усередині тестової зони.
3. Перевірка герметичності випробувальної камери.
4. Увімкнення аеродинамічної труби.
5. Налаштування вентилятора за допомогою панелі керування.
6. Проведення дослідження.
7. Фіксація необхідних результатів вимірювань.

8. Вимкнення вентилятора, що створює потік.

9. Вимкнення усієї конструкції аеродинамічної труби.

Таким чином, проаналізувавши потенційні небезпеки, усі ризики можна умовно поділити на такі, що не мають безпосередньою причиною роботу установки: падіння, забій, поранення, випадковий контакт з хімічними речовинами, травма внаслідок самостійного перенесення важких піддослідних зразків, а також ті, що стали наслідком технічної несправності в роботі конструкції.

Навіть порівняно невелика аеродинамічна труба може становити певні небезпеки в процесі експлуатації.

За версією Каліфорнійського університету інженерії найчастішими ризиками, на які наражається користувач аеродинамічною трубою є:

- Поранення лопатями/ременем вентилятора та шківа;
- Шум;
- Травми очей;
- Ураження електричним струмом [5].

Якщо взяти до уваги будову аеродинамічної труби, процес підготовки експерименту та принцип її роботи, можна виділити такі потенційні загрози:

- Неконтрольовані перепади тиску;
- Вихід із ладу частини обладнання (наприклад, розгерметизація балонів із газом, несправний повітроохолоджувач);
- Збій роботи системи (вихід із ладу компресорів безперервної дії, вихід із ладу обладнання, що гальмує надзвуковий потік);
- Використання нових експериментальних установок або обладнання;
- Розгерметизація вакуумної ємності;
- Вихід із ладу системи підігріву;
- Невірне встановлення моделі у тестовій секції.

Наразі можна говорити про те, що за вчасного та якісного технічного обслуговування ризики ураження внаслідок виходу з ладу однієї з систем чи усієї аеродинамічної труби, неконтрольованих перепадів тиску, розгерметизації балонів чи вакуумної ємності та інших можливих несправностей конструкції труби знаходяться в безпечних межах.

Проте, варто відмітити, що існує певний перелік ризиків, які не можуть бути усунуті тільки технічним шляхом. Це призводить до необхідності строгого контролю та організації процесу. Наприклад, зниження шуму більше, ніж у сучасних аеродинамічних трубах наразі не є технологічно можливим при збереженні габаритів труби, параметрів потоку та режимів роботи складових конструкції. Оскільки доступні варіанти зменшення шумового забруднення порушуватимуть експеримент, необхідно забезпечити користувачів аеродинамічною трубою засобами індивідуального захисту. Аналогічно, саме на рівні організації вирішуються проблеми механічного травмування гострими краями досліджуваних об'єктів, або лопатями вентилятора, шляхом впровадження використання спеціальних захисних накладок при роботі людини

зі зразком та заборони перебування надто близько до аеродинамічної труби в процесі роботи.

Розроблення правил поведінки під час проведення тестування аеродинамічних характеристик головним чином зосереджене на мінімізації ризиків, що можуть виникнути для осіб, що проводять експеримент.

Серед наразі дійсних застережень варто відмітити:

- Використовувати відповідне обладнання безпеки для поточного завдання (тобто захисні окуляри, навушники, рукавички).

- Негайно повідомляти про всі розлиті рідини (оскільки вони становлять надзвичайну небезпеку посковзнутися).

- Усі контейнери з хімікатами повинні бути промарковані щодо вмісту [6].

- Вимикач має бути заблокований, коли він не використовується, щоб запобігти випадковому запуску, ненавмисному включенню та/або несанкціонованому управлінню трубою.

- Кнопки аварійної зупинки (вимкнення) розташовані біля кожного виходу з лабораторії.

- Двигун аеродинамічної труби повільно змінює швидкість. Потрібно мати на увазі, що під час відключення може знадобитися хвилина або більше, щоб двигун повністю зупинився, а потік в тунелі припинився.

- Труба має працювати лише з повністю закритою тестовою секцією (обидві двері доступу, обидві віконні панелі, обидві панелі підлоги на місці).

- Усі експерименти повинні мати перевірений і затверджений план тестування.

- Видимі частини аеродинамічної труби та тестової секції повинні бути вільні від усіх незакріплених частин, інструментів, кріпильних елементів, сміття тощо перед увімкненням труби для кожного запуску [6].

- Усі моделі та інше обладнання, встановлене для тестування, повинно бути належним чином закріплене.

- Захист органів слуху необхідний для роботи з аеродинамічною трубою у режимі вище 150 футів на секунду (частоти > 30 Гц, напруги > 5 вольт) [6].

- Двері тестової секції дозволено відкривати лише після того, як труба повністю зупиниться.

- Двері тестової секції необхідно відкривати дуже обережно – гідравлічні відкривачі є потужними, вони можуть і будуть рухати двері дуже швидко.

- Заборонено заходити в трубу або тестову ділянку [6].

Для покращення рівня безпеки, можна запропонувати такі додаткові заходи:

- Розміщення важелів аварійного вимкнення не лише біля виходів, але й в безпосередній близькості від конструкції та місця, передбаченого для знаходження експериментатора, для можливості максимально оперативного реагування у разі виникнення позаштатної ситуації.

- Регулярні ретельні перевірки деталей аеродинамічної труби, моніторинг справності та ресурсу.

- Встановлення резервних датчиків контролю тиску та температури в декількох різних ділянках аеродинамічної труби.

- Запровадження новітніх високоточних систем для встановлення дослідного зразка в тестовій зоні, наприклад, лазерний контроль або програмовані на розраховані координати затискачі.

Висновки. Для мінімізації ризиків при роботі з аеродинамічною трубою важливо забезпечити детальний контроль у виготовленні та збірці самої конструкції, проектування приміщення для досліджень із врахуванням необхідності швидкої реакції у разі виходу з ладу системи, запровадження додаткових методів аналізу стану системи для попередження аварійних ситуацій під час роботи та суворе дотримання правил техніки безпеки.

У статті було розглянуто будову та принцип дії аеродинамічної труби, у відповідності до яких проаналізовані аварійні ситуації, що можуть виникнути у разі несправності певних компонентів та найчастіші зі спостережуваних травми для персоналу. Також були оглянуті сучасні правила поведінки з установкою аеродинамічної труби при проведенні експериментів, та запропоновані подальші кроки для убезпечення роботи з конструкцією.

Література

1. Dodson M. An historical and applied aerodynamic study of the wright brothers' wind tunnel test program and application to successful manned flight. 334-те вид. Annapolis, Maryland : United States Naval Academy, 2005. 170 с., USNA-1531-2.

2. Donald D. Baals and William R. Corliss. Wind Tunnels of NASA : Special Publication (SP). Washington, DC United States : NASA Headquarters, 1981.

3. Аеродинамічний комплекс Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». Електронний ресурс. – <https://web.archive.org/web/20221020114750/http://scientists.kharkov.ua/our-projects/virtual-museum/676-aerodinamichnij-kompleks-natsionalnogo-aerokosmichnogo-universitetu-im-m-e-zhukovskogo-kharkivskij-aviatsijnij-institut>.

4. Moyens d'essais. Aerodynamique eiffel. URL: <https://www.aerodynamiqueeiffel.fr/moyens-d-essais/> (дата звернення: 10.10.2024).

5. Wind Tunnel [Електронний ресурс]: техніка безпеки при роботі з аеродинамічною трубою Каліфорнійського університету/ College of Engineering, California State University Long Beach – Електронні текстові дані (1 файл, 165 Кбайт).

6. School of Engineering, General Safety Rules and Operational Policies for JEC 2220: Subsonic Wind Tunnel, 2014.