

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Національний авіаційний університет**

---

**Сохацький Анатолій Валентинович**

УДК: 533.625: 531.36:533.6.011:532.517.4

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ  
КОМПОНУВАНЬ ПЕРСПЕКТИВНИХ ШВИДКІСНИХ  
ТРАНСПОРТНИХ АПАРАТІВ**

Спеціальність: 05.07.01 – аеродинаміка та газодинаміка літальних апаратів

**А в т о р е ф е р а т**

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

Київ – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Академії митної служби України на кафедрі транспортних систем та технологій і в Інституті транспортних систем та технологій Національної академії наук України.

**Науковий консультант:** доктор фізико-математичних наук, професор  
**Приходько Олександр Анатолійович**,  
Дніпропетровський національний університет  
імені Олеся Гончара,  
завідуючий кафедрою технічної механіки.

**Офіційні опоненти:**

член-кореспондент НАН України,  
доктор технічних наук, с. н. с.

**Губарєв В'ячеслав Федорович**,  
Інститут космічних досліджень  
НАН України і НКА України (м. Київ),  
завідуючий відділом;

доктор технічних наук, професор  
**Бабенко Віктор Віталійович**,  
Інститут гідромеханіки НАН України (м. Київ),  
провідний науковий співробітник;

доктор технічних наук, с. н. с.  
**Кваша Юрій Олександрович**,  
Інститут технічної механіки  
НАН України і НКА України (м. Дніпропетровськ),  
провідний науковий співробітник.

Захист відбудеться 01 липня 2010 року о 14<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.05 при Національному авіаційному університеті МОН України за адресою: 03680, м. Київ, пр. Космонавта Комарова 1, ауд. 9-207.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного авіаційного університету МОН України. за адресою: 03680, м. Київ, пр. Космонавта Комарова 1.

Автореферат розісланий 28 травня 2010 р.

**Вчений секретар**  
спеціалізованої вченої ради



**Є. О. Шквар**

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Розробка та удосконалення транспортних апаратів є актуальною проблемою сьогодення. Її розв'язування можливо двома шляхами: перший – проектування нових типів транспортних апаратів із використанням традиційних технічних принципів; другий – розробка нових видів транспортних апаратів, що використовують нові фізичні принципи забезпечення руху, підтримки, стабілізації і системи керування.

До другого напрямку розвитку транспорту відноситься створення швидкісних транспортних апаратів на надпровідних магнітах. Високі швидкості руху цих транспортних апаратів потребують обов'язкового урахування аеродинамічних процесів. Виникають додаткові проблеми з істотним впливом аеродинамічних навантажень на забезпечення стійкості руху транспортного апарата. Наявність шляхової структури накладає обмеження на кінематичні параметри руху. Таким чином, виникає необхідність у проведенні досліджень аеродинаміки та динаміки руху нових перспективних транспортних апаратів на надпровідних магнітах.

На сьогодні для визначення проектних аеродинамічних характеристик транспортних засобів в основному використовуються експериментальні методи та емпіричні співвідношення. З'явилися роботи, що базуються на методах особливостей, квадрупольній теорії крила, потенціалу прискорень, зрощених асимптотичних рознесеннях. При цьому використовуються різного роду припущення, які спрощують задачу, але не завжди повномірно відтворюють фізичні особливості явищ. Останнім часом все частіше використовують більш точні методи, що базуються на рівняннях Ейлера та Нав'є–Стокса.

Застосування математичного моделювання з використанням сучасних обчислювальних технологій у поєднанні з фізичними експериментами – це єдиний шлях розв'язування проблем аеродинаміки та динаміки руху швидкісних транспортних апаратів. У зв'язку з цим існує необхідність створення математичного та програмного забезпечення для розв'язування зв'язаних задач аеродинаміки та динаміки руху перспективних наземних швидкісних транспортних апаратів із динамічними системами підтримки, які б дозволили виконувати пошук раціональних аеродинамічних компоновань з придатними технічними та динамічними параметрами.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами та темами.**

Дисертація виконана за планом науково-дослідних робіт Інституту транспортних систем і технологій Національної академії наук України, Українського науково-технологічного центру (UNTC), кафедри транспортних систем та технологій Академії митної служби України, які базуються на таких нормативних документах:

- Постанові Державного комітету з науки та техніки при Раді Міністрів СРСР від 08.09.1988 р. № 323 “Разработка макетного образца экипажа высокоскоростного наземного транспорта (ВСНТ) с рациональной

аэродинамической компоновкой, электродинамическим подвесом и линейным синхронным двигателем со сверхпроводящей обмоткой”;

- Постанові Ради Міністрів СРСР від 30.12.1988 р. № 1474 “Высокоскоростной экологически чистый транспорт”;

- Постанові Комітету з науки та техніки при Уряді України від 24.07.1992 р. № 19 “Розробка методів визначення аеродинамічних характеристик тіл, які рухаються поблизу профільованих поверхонь”;

- Постанові Бюро Відділення механіки Національної академії наук України протокол № 7 від 07.12.1995 р. “Розв’язання проблем створення перспективних транспортних систем та розробка засобів їх автономного енергозабезпечення”;

- Постанові Бюро Відділення механіки Національної академії наук України № 5, § 2 від 22.12.2000 р. “Дослідження та розробки в галузі створення магнітолевітуючих транспортних систем і модулів бортового енергопостачання”;

- Постанові Бюро Відділення механіки Національної академії наук України протокол № 2 від 12.03.2002 р. “Розвиток методів дослідження динаміки і навантаженості нових та нетрадиційних видів транспорту”(номер держреєстрації 0102U005341);

- Науково-дослідній темі Українського науково-технологічного центру «Research and Development of High Speed Maglev Transport with Electrodynamical Suspension» (№ 2521);

- Постанові Бюро Відділення механіки Національної академії наук України № 4, § 2 від 13.07.2004 р. “Розробка теорії і систем левітуючого транспорту і найновіших автономних інтегрованих систем енергозабезпечення з використанням сонячних і вітроенергоустановок та енергонакопичувачів” відповідно до цільової наукової програми НАН України “Розробка фундаментальних проблем механіки навколишнього середовища та механіки машин в інтересах національної економіки” (номер держреєстрації 0105U007964);

- Постанові Бюро Відділення механіки Національної академії наук України № 5, § 2 п.6 від 14.12.2006 р. “Розвиток методів дослідження механіки транспортних засобів та їх енергетичних систем” (номер держреєстрації 0107U001166 );

- Науково-дослідній темі кафедри транспортних систем та технологій “Удосконалення параметрів транспортних засобів, систем та їх елементів”, (номер держреєстрації 014U008457).

**Мета роботи та задачі досліджень:** Розробка методології формування аеродинамічних компонувань перспективних швидкісних транспортних апаратів на основі математичного та фізичного моделювання. Досягнення поставленої мети ґрунтується на результатах **розв’язання таких задач:**

1. Аналіз методів математичного моделювання, призначених для створення раціональних аеродинамічних компонувань перспективних

швидкісних транспортних апаратів, визначення аеродинамічних характеристик, розв'язання зв'язаних задач аеродинаміки та динаміки.

2. Розробка математичної моделі для розв'язування зв'язаної задачі аеродинаміки, електродинаміки та динаміки руху магнітолевітуючого транспортного апарата поблизу шляхової структури.

3. Розробка методик, алгоритмів та програм числового розв'язування тривимірних рівнянь Нав'є–Стокса для ламінарного та турбулентного режимів обтікання транспортних апаратів.

4. Розробка методу, алгоритму і програм визначення нестационарних аеродинамічних характеристик несучих систем поблизу шляхової структури з використанням сингулярних інтегральних рівнянь.

5. Дослідження методу управління примежовим шаром для моделювання руху транспортного засобу поблизу профільованої шляхової структури.

6. Експериментальне дослідження аеродинамічних характеристик транспортних апаратів ряду аеродинамічних компонувань.

7. Створення наближено-аналітичного методу визначення аеродинамічних характеристик транспортних апаратів поблизу шляхової структури.

8. Параметричні дослідження аеродинамічних характеристик транспортних апаратів з динамічними системами підтримки поблизу шляхової структури.

9. Вироблення рекомендацій щодо застосування математичних моделей та методів при розв'язанні прикладних проблем з аеродинаміки транспортних апаратів на надпровідних магнітах.

10. Розробка методології формування аеродинамічних компонувань перспективних швидкісних транспортних апаратів.

**Об'єктом дослідження** є рух перспективних швидкісних транспортних апаратів на надпровідних магнітах.

**Предметом дослідження** є аеродинаміка та динаміка руху перспективних швидкісних транспортних апаратів на надпровідних магнітах.

**Методи дослідження.** Для розв'язання сформульованої в роботі проблеми використані такі методи: математичного моделювання; теоретичної аеродинаміки; теорії диференціальних рівнянь; лінійної алгебри; побудови різницевого сіток; теорії подібності; фізичного моделювання в аеродинамічних трубах.

**Наукова новизна роботи.** На основі математичного і фізичного моделювання аеродинамічних процесів, під час руху перспективних транспортних апаратів над шляховою структурою досліджено аеродинамічні характеристики, виконано числове моделювання аеродинаміки та динаміки їх руху, що базується на використанні рівнянь Нав'є–Стокса, інтегральних сингулярних рівнянь, розв'язанні зв'язаної задачі аеродинаміки й динаміки руху. Наукова новизна роботи полягає в наступному:

1. Уперше запропоновано методологію формоутворення аеродинамічних компонувань перспективних швидкісних транспортних апаратів на надпровідних магнітах.

2. Вироблено комплексний підхід до розв'язування зв'язаної задачі аеродинаміки, електродинаміки та динаміки руху транспортного апарата на надпровідних магнітах з моделюванням аеродинаміки перспективних транспортних апаратів на основі числового розв'язування осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є–Стокса, сингулярних інтегральних рівнянь, використанням наближено-аналітичного методу.

3. За результатами математичного моделювання та числового розв'язування зв'язаної задачі аеродинаміки та динаміки руху, аналізу диференціальних рівнянь динаміки руху транспортного апарата на надпровідних магнітах під дією аеродинамічних, магнітних, гравітаційних та інерційних сил запропоновано аналітичні співвідношення для оцінки впливу електродинамічних, інерційних, гравітаційних та аеродинамічних навантажень на динаміку руху транспортного апарата.

4. На основі виконаних експериментальних досліджень, математичного моделювання та аналізу фізичних явищ, що спостерігалися при обтіканні моделей перспективних транспортних апаратів, вироблено рекомендації щодо покращання аеродинамічних характеристик транспортних засобів та використання виявлених фізичних ефектів для забезпечення потрібних параметрів динаміки та безпеки руху.

5. З метою використання аеродинамічних ефектів високошвидкісного магнітолевітуючого транспортного засобу запропоновано аеродинамічне компонування зі змішаною системою динамічної підтримки: аеродинамічною та електродинамічною, яка дозволяє забезпечити прийнятні параметри руху поблизу шляхової структури.

**Практичне значення отриманих результатів.** Розроблена методологія формування аеродинамічних компонувань може бути використана в проектних та дослідних роботах зі створення перспективних швидкісних транспортних апаратів. Отримані в роботі результати математичного моделювання, експериментальних та числових досліджень дозволяють покращити аеродинаміку швидкісних транспортних засобів. Запропонована математична модель, методики, алгоритми та програмне забезпечення розв'язування зв'язаної задачі аеродинаміки та динаміки руху транспортного апарата на надпровідних магнітах використовується при виконанні таких держбюджетних тем:

“Розвиток методів дослідження механіки транспортних засобів та їх енергетичних систем” в Інституті транспортних систем та технологій НАН України;

“Удосконалення параметрів транспортних засобів, систем та їх елементів” в Академії митної служби України на кафедрі транспортних систем та технологій.

Результати досліджень, які є предметом дисертації, були використані для створення повномасштабного дослідного зразка транспортного апарата на надпровідних магнітах.

#### **Особистий внесок автора.**

У друкованих наукових публікаціях внесок автора такий:

- у працях [1, 2, 6–10, 12–15, 17, 9–21, 23, 27, 32, 34, 36, 41, 46, 48, 52, 56, 57, 60, 62] сумісно сформульовано постановку задачі;
- у працях [1, 2, 6, 7, 8, 12, 14, 15, 17, 19, 32, 34, 46, 48, 52, 56, 57, 60] розробка методик, алгоритмів, програмного забезпечення, проведення розрахунків, аналіз результатів виконано здобувачем;
- у працях [9, 13, 20, 21, 23, 27] здобувачем запропоновано методику експериментальних досліджень та виконано аналіз результатів;
- у працях [36, 41, 45, 62] здобувачем розроблено методику, алгоритми та програми розрахунку, проведено фізичний та обчислювальний експерименти, виконано аналіз результатів.

Основні результати роботи отримані автором самостійно.

**Апробація результатів дисертаційної роботи.** В процесі досліджень положення та результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на:

- Міжнародній науковій конференції “Численные методы в гидравлике и гидродинамике” (м. Донецьк, 1994 р.);
- Міжнародних наукових конференціях “Прикладные проблемы механики жидкости и газа” (м. Севастополь, Сев. ТУ, 1994 – 2000 рр.);
- II та III Міжнародних симпозиумах українських інженерів-механіків (м. Львів, 1995 р., 1997 р.);
- Міжнародній конференції “Розвиток легкомоторної авіації” (м. Київ, НАУ, 1995 р.);
- Міжнародних наукових конференціях “Проблемы механики железнодорожного транспорта” (м. Дніпропетровськ, ДТУЗТ, 1996 р., 1998 р., 2000 р.);
- Міжнародних наукових конференціях “Гідроаеромеханіка в інженерній практиці” (м. Черкаси, 1997 р., 2003 р.; м. Київ, 1998 р., 2000 р., 2002 р., 2004 р., 2006 р.; м. Суми, 1999 р.; м. Харків, 2001 р.; м. Краматорськ, 2005 р.; м. Луганськ, 2007 р.; м. Чернівці, 2009 р.);
- Міжнародній науковій конференції “Актуальні проблеми механіки суцільного середовища” (м. Донецьк, 2002 р.);
- Міжнародних симпозиумах “Методы дискретных особенностей в задачах математической физики” (м. Феодосія, 1997 р., м. Херсон, 1999 р., 2001 р., 2003 р., 2005 р., 2007 р., 2009 р.);
- Міжнародних наукових конференціях з математичного моделювання “МКММ” (м. Херсон, 2000 р., 2001 р., 2002 р., 2003 р., 2009 р., м. Феодосія, 2005 р., 2008 р.);
- Міжнародній конференції “Комп’ютерна математика в освіті та наукових дослідженнях” (“КМ-2007”, м. Феодосія, 2007 р.);

- II Білоруському конгресі з теоретичної та прикладної механіки “МЕХАНІКА -99” (м. Мінськ, 1999 р.);
- Міжнародній науковій конференції “Современные проблемы прикладной математики и механики: теория, эксперимент, практика”, (м. Новосибірськ, 2001 р.);
- Міжнародній конференції “Наука і освіта 98” (м. Дніпропетровськ, 1998 р.);
- конференціях з проблем економічної безпеки України (м. Дніпропетровськ, АМСУ, 2000 р.– 2009 р.);
- Міжнародних конференціях з проблем авіації ( м. Київ, НАУ, 2000 р., 2001 р., 2003 р., 2005 р., 2006 р.);
- Міжнародних науково-практичних конференціях “Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики”. (м. Київ, Мін. транс. України, 2000 р. –2004 р.);
- семінарі кафедри вищої математики Київського міжнародного університету цивільної авіації (м. Київ, 1998 р.);
- республіканському семінарі Інституту гідромеханіки НАН України (м. Київ, 1998 р.);
- Міжнародній конференції з проблем транспорту на надпровідних магнітах ”International conference on magnetically levitated systems and linear drives” Swiss Federal Institute of technology (Lausanne, 2002 р., Drezden, 2006 р.);
- 65-й міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту” (м. Дніпропетровськ, 2005 р.);
- V–VI міжнародних конференціях “Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем” (м. Дніпропетровськ, 2007 – 2008 рр.);
- II міжнародна наукова конференція “Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепло масообміну” (м. Дніпропетровськ, 2008 р. );
- міжвузівському семінарі відділення нетрадиційних видів транспорту Транспортної академії України ( м. Дніпропетровськ, 2007 р., 2008 р.);
- Міжнародній конференції “Тараповські читання” (м. Харків, Харківський національний університет, 2008 р.);
- Міжнародних конференціях “Інформаційні технології в управлінні складними системами” (м. Дніпропетровськ, ДНУ, 2007 – 2008 рр.);
- розширеному семінарі кафедри інформаційних систем та технологій Національного металургійного університету (м. Дніпропетровськ (2009 р.),
- науковому семінарі “Космічна техніка та технології” ( Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, 2009 р.);
- міжкафедральному семінарі Національного авіаційного університету (м. Київ, 2009 р.);
- розширеному семінарі відділу № 7 Інституту транспортних систем та технологій НАН України ( м. Дніпропетровськ, 2010 р.);
- розширеному міжкафедральному семінарі Академії митної служби України (м. Дніпропетровськ, 2010 р.);



- науковому семінарі відділу № 21 Інституту космічних досліджень НАН України і НКА України (м. Київ, 2010 р.).

**Публікації.** Основні результати дисертації опубліковані 82 друкованих працях, у тому числі в одній монографії, 4 статтях закордонних видань, 52 статтях фахових видань України, 10 статтях збірників наукових праць, 28 матеріалах та тезах конференцій, частину яких наведено в кінці автореферату.

**Обсяг та структура роботи.** Дисертація складається зі вступу, восьми розділів, висновків, списку використаних джерел (315 назв), виконана на 268 сторінках, ілюстрована 176 рисунками, повний обсяг дисертації – 380 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**Вступ.** Обґрунтовано актуальність роботи, визначено мету і задачі дослідження, сформульовано наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, наведені дані про їх апробацію та впровадження.

**Розділ 1. Аналіз сучасного стану проблеми.** Аналіз ефективності сучасних галузей транспорту показує, що існує гостра необхідність впровадження в перевізний процес швидкісних наземних транспортних апаратів (рис. 1). Розглядаються перспективи створення нових транспортних апаратів, що працюють на нових фізичних принципах, а саме з використанням технологій магнітної левітації (Maglev).

Аналізуються критерії оцінки досконалості транспортних апаратів, алгоритми та етапи розробок їх аеродинамічних компонувань. Накопичення даних статистичного характеру в аеродинамічних трубах та шляхом проведення багатокompонентного теоретичного аналізу на обчислювальних машинах допомагає вибрати раціональне аеродинамічне компонування. Проте еволюційний метод розробки аеродинамічних компонувань потребує великих часових затрат. Існує нагальна потреба створення більш ефективної методології формоутворення аеродинамічних компонувань транспортних апаратів.

Пошук раціонального аеродинамічного компонування транспортного апарата є оберненою задачею. В силу взаємовпливу поверхні шляхової структури і транспортного апарата на його аеродинаміку необхідно розробляти математичні моделі, які дозволяють відтворювати загальну структуру течії та визначати динамічні й аеродинамічні характеристики. Для їх знаходження необхідне сумісне розв'язування зв'язаної задачі аеродинаміки, електродинаміки та динаміки руху транспортних апаратів.

Виконано аналіз методів фізичного та математичного моделювання аеродинамічних процесів. Розглянуто числові методи розв'язування рівнянь Нав'є–Стокса та моделей турбулентності для їх замикання.

Аналіз методів фізичного та математичного моделювання аеродинаміки показує, що у зв'язку з підвищенням швидкодії та обсягів пам'яті ЕОМ (рис. 2), а також удосконаленням моделей і методів механіки для розв'язання

широкого кола задач із визначення параметрів перспективних транспортних засобів є необхідність розробки математичних моделей та обчислювальних методів аеродинаміки швидкісних транспортних апаратів різного рівня складності для їх подальшого використання в наукових дослідженнях аеродинаміки та динаміки.

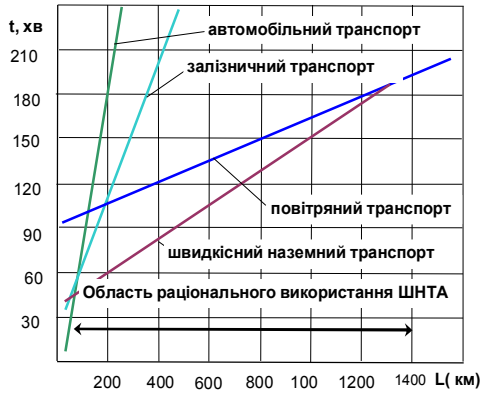


Рис. 1. Область використання за видами транспорту

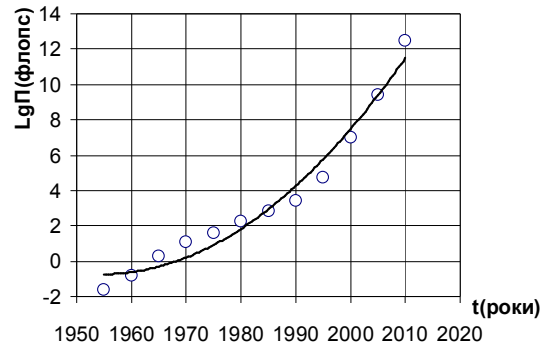


Рис. 2. Динаміка зростання продуктивності ЕОМ

За результатами аналізу стану проблеми визначено мету та задачі дослідження.

**Розділ 2. Постановка зв'язаної задачі аеродинаміки, електродинаміки та динаміки руху перспективних транспортних апаратів.** Розглядаються методологічні основи створення аеродинамічних компонувань швидкісних транспортних апаратів на надпровідних магнітах. Показано, що аеродинамічне компонування транспортного апарата на надпровідних магнітах необхідно формувати на основі розв'язування зв'язаної задачі аеродинаміки, електродинаміки та динаміки руху транспортного апарата. Це обумовлено багатофункціональним взаємовпливом параметрів руху, аеродинамічних та електродинамічних характеристик, передісторії руху і т. п. У зв'язку з цим математична модель зв'язаної задачі аеродинаміки, електродинаміки та динаміки руху транспортного апарата на надпровідних магнітах повинна включати в себе математичні моделі аеродинаміки, електромагнітної взаємодії, динаміки руху транспортного апарата, дані фізичного моделювання, тестові та числові розрахунки, обробку та аналіз результатів. Система рівнянь для розв'язування зв'язаної задачі аеродинаміки, електродинаміки та динаміки руху транспортного апарата має вигляд:

$$m \left( \frac{d\vec{V}_c}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{V}_c \right) = \vec{F}_c; \quad (1)$$

$$\frac{d\vec{K}_c}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{K}_c = \vec{M}_c; \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \hat{F}_m}{\partial \xi_m} + \frac{\partial \hat{F}_m^{diff}}{\partial \xi_m} = \vec{S}_q + \vec{S}_{xyz}; \quad (3)$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = f(\gamma, \vartheta, \psi, \dot{\gamma}, \dot{\vartheta}, \dot{\psi}, t); \quad (4)$$

$$\vec{R}_{mag} = \vec{R}_{mag}(V_c, \gamma, \vartheta, \psi, \dot{\gamma}, \dot{\vartheta}, \dot{\psi}, h); \quad (5)$$

$$\vec{F}_c = \vec{F}(p, k, \rho, V_c, h, \alpha, \beta, \gamma, \vartheta, \psi, \dot{\alpha}, \dot{\beta}, \dot{\gamma}, \dot{\vartheta}, \dot{\psi}, \delta_c, P_{ps}); \quad (6)$$

$$\vec{M}_c = \vec{M}(p, k, \rho, V_c, h, \alpha, \beta, \gamma, \vartheta, \psi, \dot{\alpha}, \dot{\beta}, \dot{\gamma}, \dot{\vartheta}, \dot{\psi}, \delta_c, P_{ps}); \quad (7)$$

$$\varphi \leq |\varphi_{\max}|; \quad \dot{\varphi} \leq |\dot{\varphi}_{\max}|; \quad h_{\min} \leq h \leq h_{\max}, \quad (8)$$

де  $\vec{F}_c, \vec{M}_c$  – вектор сил та моментів;  $\vec{K}_c$  – момент кількості руху;  $\vec{R}_{mag}$  – вектор магнітних сил;  $p$  – тиск;  $k$  – параметр, що характеризує турбулентний стан атмосфери;  $\rho$  – густина повітря;  $\vec{V}_c$  – швидкість центра мас транспортного апарата;  $h$  – відстань до шляхової структури;  $\hat{F}_m, \hat{F}_m^{diff}$  – вектор конвективних та дифузійних потоків;  $\vec{S}_q$  – джерельний член;  $\vec{S}_{xyz}$  – джерельний член, що визначається типом системи координат;  $\varphi = \{\gamma, \vartheta, \psi\}$ ;  $\dot{\varphi} = \{\dot{\gamma}, \dot{\vartheta}, \dot{\psi}\}$ ;  $\alpha, \beta, \gamma, \vartheta, \psi, \dot{\alpha}, \dot{\beta}, \dot{\gamma}, \dot{\vartheta}, \dot{\psi}$  – кути атаки, ковзання, крену, тангажа, рискання та їх похідні за часом;  $Q = \{\rho, \rho u, \rho v, \rho w, E_t, \rho \tilde{v}\}$  – вектор густини потоку;  $P_{ps}$  – тяга силових установок;  $\delta_c$  – дія органів керування транспортного засобу;  $\xi_m = \xi_m(t, x_1, x_2, x_3)$ ,  $m = 1, 2, 3$ ;  $c$  – центр мас.

Наведено математичні моделі аеродинаміки, електродинаміки та динаміки руху транспортного апарата на надпровідних магнітах. Математична модель аеродинаміки побудована на основі осереднених за Рейнольдсом рівняннях Нав'є–Стокса у фізичних змінних, записаних у криволінійній неортогональній системі координат

$$\frac{\partial \hat{Q}}{\partial t} + \frac{\partial (\hat{E} - \hat{E}_v)}{\partial \xi} + \frac{\partial (\hat{F} - \hat{F}_v)}{\partial \eta} + \frac{\partial (\hat{G} - \hat{G}_v)}{\partial \zeta} = \hat{H}, \quad (9)$$

де  $\hat{Q}$  – вектор невідомих змінних;  $\hat{E}, \hat{F}, \hat{G}$  – вектори нев'язких потоків;  $\hat{E}_v = \xi_x E_v + \xi_y F_v + \xi_z G_v$ ,  $\hat{F}_v = \eta_x E_v + \eta_y F_v + \eta_z G_v$ ,  $\hat{G}_v = \zeta_x E_v + \zeta_y F_v + \zeta_z G_v$  – вектори в'язких потоків;  $\hat{H}$  – вектор джерельних членів.

Вектори  $\hat{Q}, \hat{E}, \hat{F}, \hat{G}, E_v, F_v, G_v$  визначаються співвідношеннями

$$\hat{Q} = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ \rho w \\ E_t \end{bmatrix}; \quad \hat{E} = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} \rho U \\ \rho U u + \xi_x p \\ \rho U v + \xi_y p \\ \rho U w + \xi_z p \\ (E_t + p)U - \xi_t p \end{bmatrix}; \quad \hat{F} = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} \rho V \\ \rho u V + \eta_x p \\ \rho v V + \eta_y p \\ \rho w V + \eta_z p \\ (E_t + p)V - \eta_t p \end{bmatrix}; \quad \hat{G} = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} \rho W \\ \rho u W + \zeta_x p \\ \rho v W + \zeta_y p \\ \rho w W + \zeta_z p \\ (E_t + p)W - \zeta_t p \end{bmatrix};$$

$$E_v = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} 0 \\ \tau_{xx} \\ \tau_{xy} \\ \tau_{xz} \\ u\tau_{xx} + v\tau_{xy} + w\tau_{xz} - q_x \end{bmatrix}, \quad F_v = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} 0 \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yy} \\ \tau_{yz} \\ u\tau_{xy} + v\tau_{yy} + w\tau_{yz} - q_y \end{bmatrix}, \quad G_v = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} 0 \\ \tau_{xz} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zz} \\ u\tau_{xz} + v\tau_{yz} + w\tau_{zz} - q_z \end{bmatrix},$$

де  $U = \xi_t + \xi_x u + \xi_y v + \xi_z w$ ,  $V = \eta_t + \eta_x u + \eta_y v + \eta_z w$ ,  $W = \zeta_t + \zeta_x u + \zeta_y v + \zeta_z w$  – котраваріантні компоненти вектора швидкості;  $\tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{zz}, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}, q_x, q_y, q_z$  – компоненти тензора напружень та вектори теплових потоків;  $\rho$  – густина;  $p$  – тиск;  $u, v, w$  – декартові складові вектора швидкості;  $\xi_x, \xi_y, \xi_z, \eta_x, \eta_y, \eta_z, \zeta_x, \zeta_y, \zeta_z$  – метричні коефіцієнти;  $t$  – час.

Для замикання системи рівнянь (9) використано алгебраїчну модель турбулентності Болдвіна – Ломакса та диференціальну модель турбулентності Спаларта – Аллмараса в реалізації відокремлених вихорів.

Для розв'язування задачі електродинаміки записано систему диференціальних рівнянь розрахунку струмів у надпровідних контурах, складених за законом Кірхгофа.

При розв'язуванні нестационарних рівнянь Нав'є–Стокса як початкові умови використовувалися параметри стаціонарного обтікання транспортного апарата. На поверхні транспортного засобу застосовувалися умови прилипання.

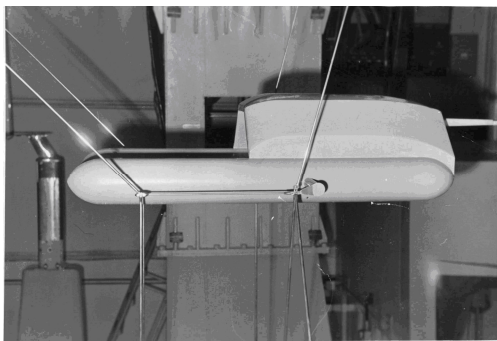
Рациональний вибір методів, що використовуються у дисертаційній роботі, розроблених алгоритмів та програм розрахунку дозволяють розв'язати поставлену в роботі наукову проблему.

**Розділ 3. Дослідження аеродинамічних характеристик перспективних швидкісних транспортних апаратів фюзеляжних компоновань.** Розглянуто особливості моделювання руху швидкісного транспортного апарата поблизу шляхової структури в аеродинамічних трубах. Досліджено фізичні процеси з управління примежовим шаром на пористій пластині та профільованій поверхні шляхової структури. Отримано розподіл швидкостей у примежовому шарі для ряду значень перепаду тиску в системі відсмоктування. Встановлено, що регулюванням відсмоктування повітря можна формувати необхідний розподіл швидкостей та тиску на поверхні управління примежовим шаром, що дозволяє отримувати необхідні аеродинамічні характеристики і, таким чином, моделювати рух транспортного апарата поблизу шляхової структури та забезпечувати стійкість руху.

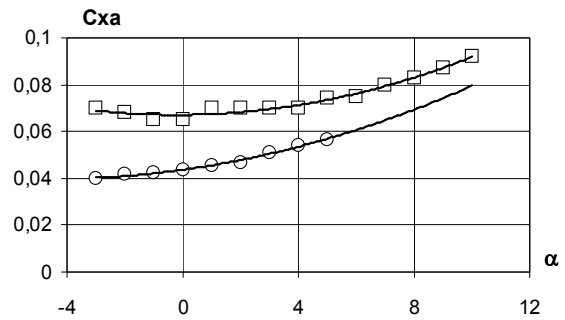
Проведено експеримент з моделлю транспортного засобу, що рухається поблизу шляхової структури. Отримано залежності коефіцієнтів підйомної сили, лобового опору та повздовжнього моменту як функції від кута атаки та відстані до профільованої опорної поверхні.

Виконано дослідження аеродинамічних характеристик транспортних апаратів однофюзеляжної (рис. 4а) та двофюзеляжної (рис. 3а)

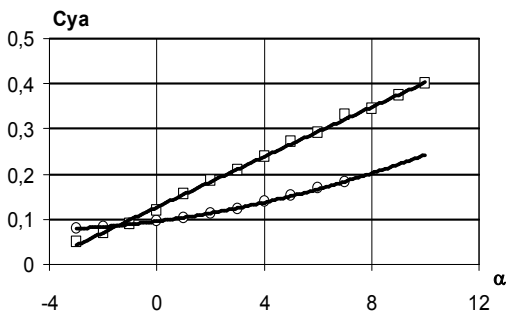
компонувальних схем в аеродинамічній трубі. Отримано залежності коефіцієнтів підйомної сили  $C_{ya}$ , лобового опору  $C_{xa}$  та повздовжнього моменту  $m_z$  як функції від кута атаки (рис. 3, б-г).



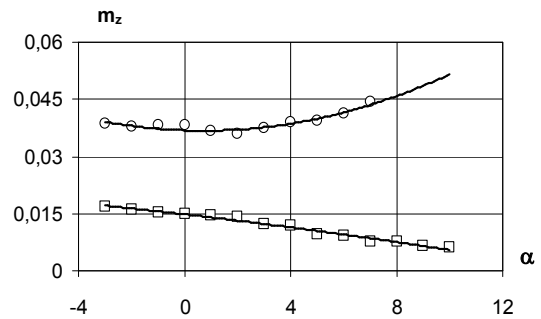
а)



б)



в)

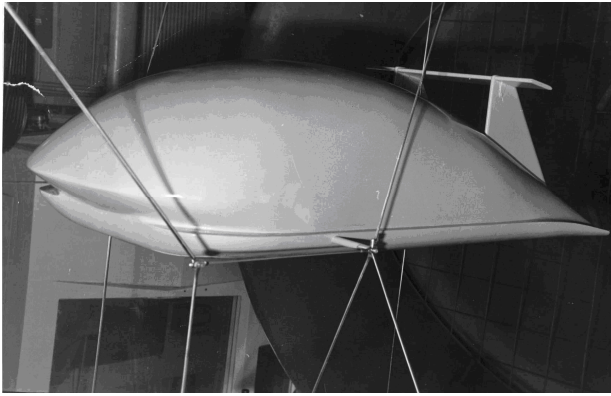


г)

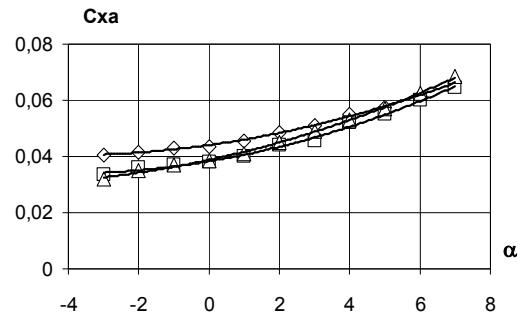
Рис. 3. Залежність аеродинамічних коефіцієнтів від кута атаки:  
 О – однофюзеляжна модель; □ – двофюзеляжна модель

Досліджено вплив кута установки горизонтального оперення на аеродинамічні характеристики однофюзеляжної моделі (рис. 4, б-г). Досліджено вплив кута ковзання на величину бокової сили та бокового моменту на аеродинамічні характеристики однофюзеляжної моделі.

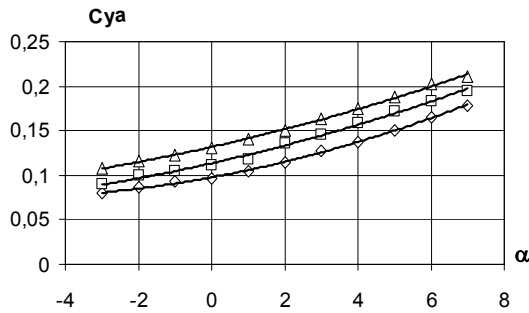
Проаналізовано залежності аеродинамічних характеристик від кінематичних і геометричних параметрів та дано оцінку аеродинамічним компонентувальним схемам. Результати експериментальних досліджень використано для створення дослідного експериментального зразка транспортного апарата на надпровідних магнітах.



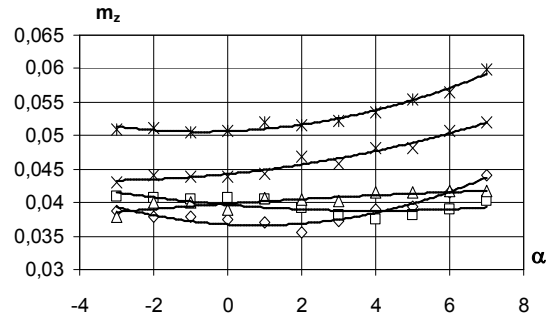
а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Вплив кута установки  $\varphi$  хвостового оперення на аеродинамічні коефіцієнти однофюзеляжної моделі:

O –  $\varphi = 0^\circ$ ;  $\Delta$  –  $\varphi = +6^\circ$ ;  $\square$  –  $\varphi = +11^\circ$ ;  $\diamond$  –  $\varphi = -6^\circ$

#### Розділ 4. Дослідження аеродинамічних характеристик перспективних швидкісних транспортних апаратів крилових компонувань.

Перспективним для динамічної підтримки транспортних засобів є використання поряд з електродинамічними силами аеродинамічних сил. Для оцінки впливу шляхової структури на аеродинамічні характеристики транспортного апарата типу Maglev проведено експериментальні дослідження аеродинаміки ряду аеродинамічних компонувань транспортних апаратів з позитивною (ТМ-1) (рис. 5а) та від'ємною (ТМ-2) (рис. 5б) V- подібністю крила як для безмежного потоку, так і поблизу трапецієподібної шляхової структури. Аеродинамічні компонування досліджувалися в криловому (рис. 6, 7) та безкриловому варіантах.

Установлено залежності коефіцієнтів підйомної сили, лобового опору та повздовжнього моменту як функції від кута атаки та відстані до профільованої поверхні шляхової структури.

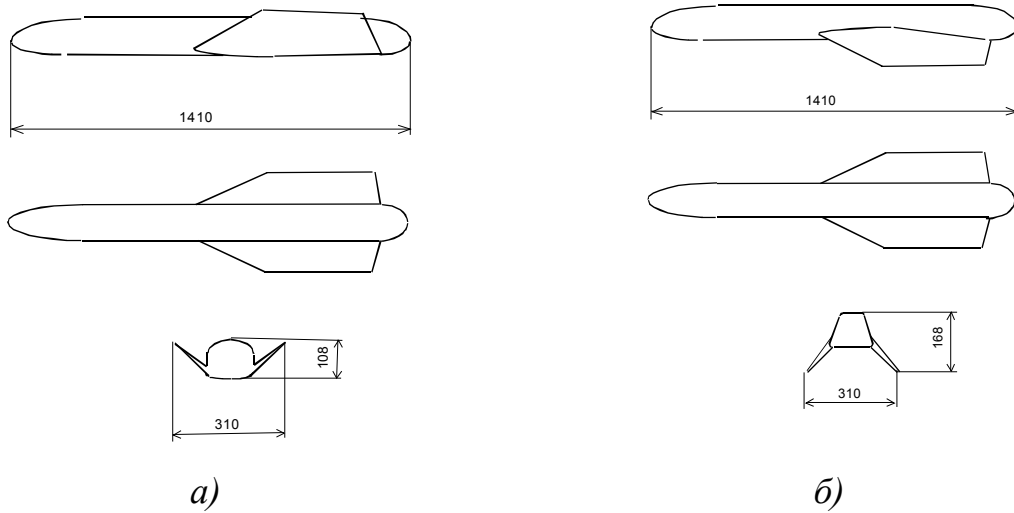


Рис. 5. Модель транспортного апарата на надпровідних магнітах :  
*a* – ТМ-1; *б* – ТМ-2

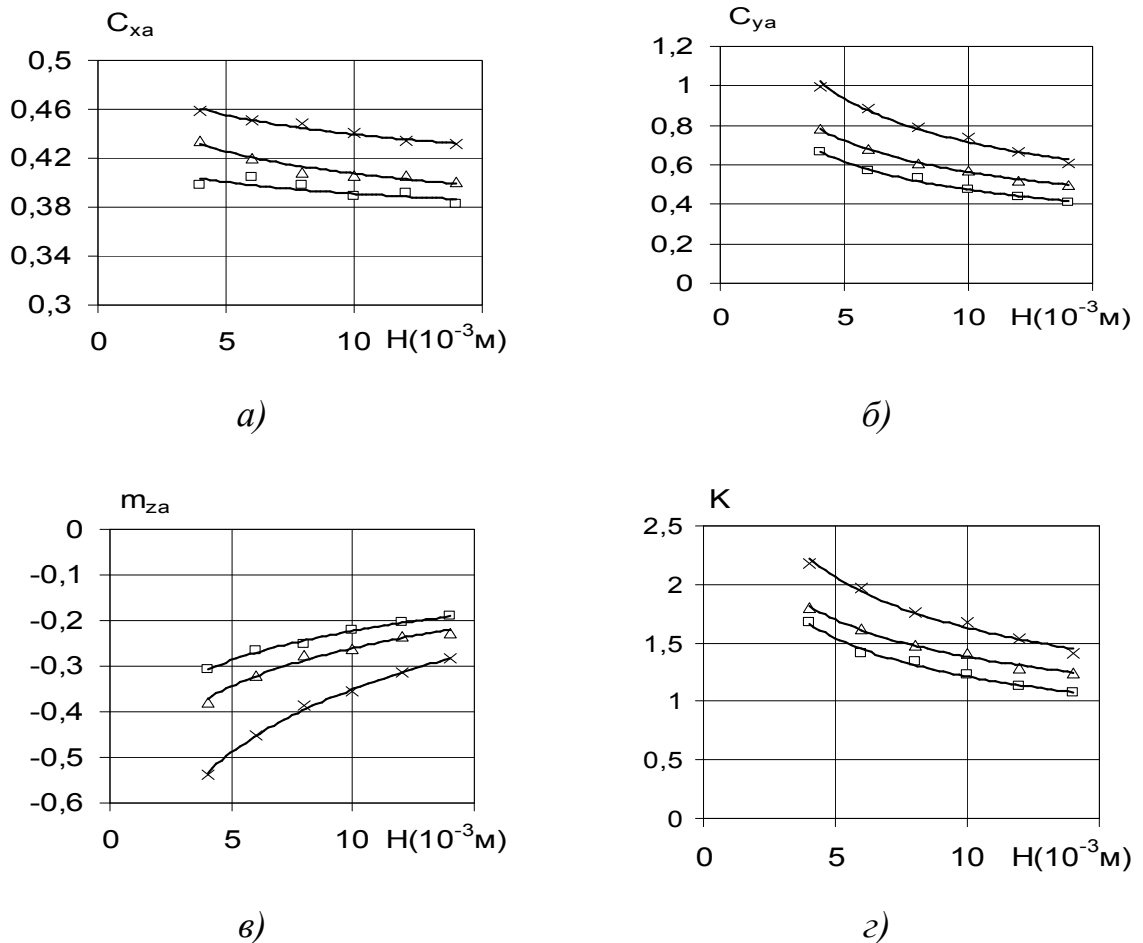


Рис. 6. Вплив відстані до поверхні профільованої шляхової структури на аеродинамічні характеристики транспортного апарата ТМ-1:  
 □ –  $\alpha = 0^\circ$ ; Δ –  $\alpha = 1^\circ$ ; × –  $\alpha = 2^\circ$

Аналіз отриманих результатів показує, що наявність шляхової структури та характер аеродинамічного компонування мають суттєвий вплив на аеродинамічні характеристики.

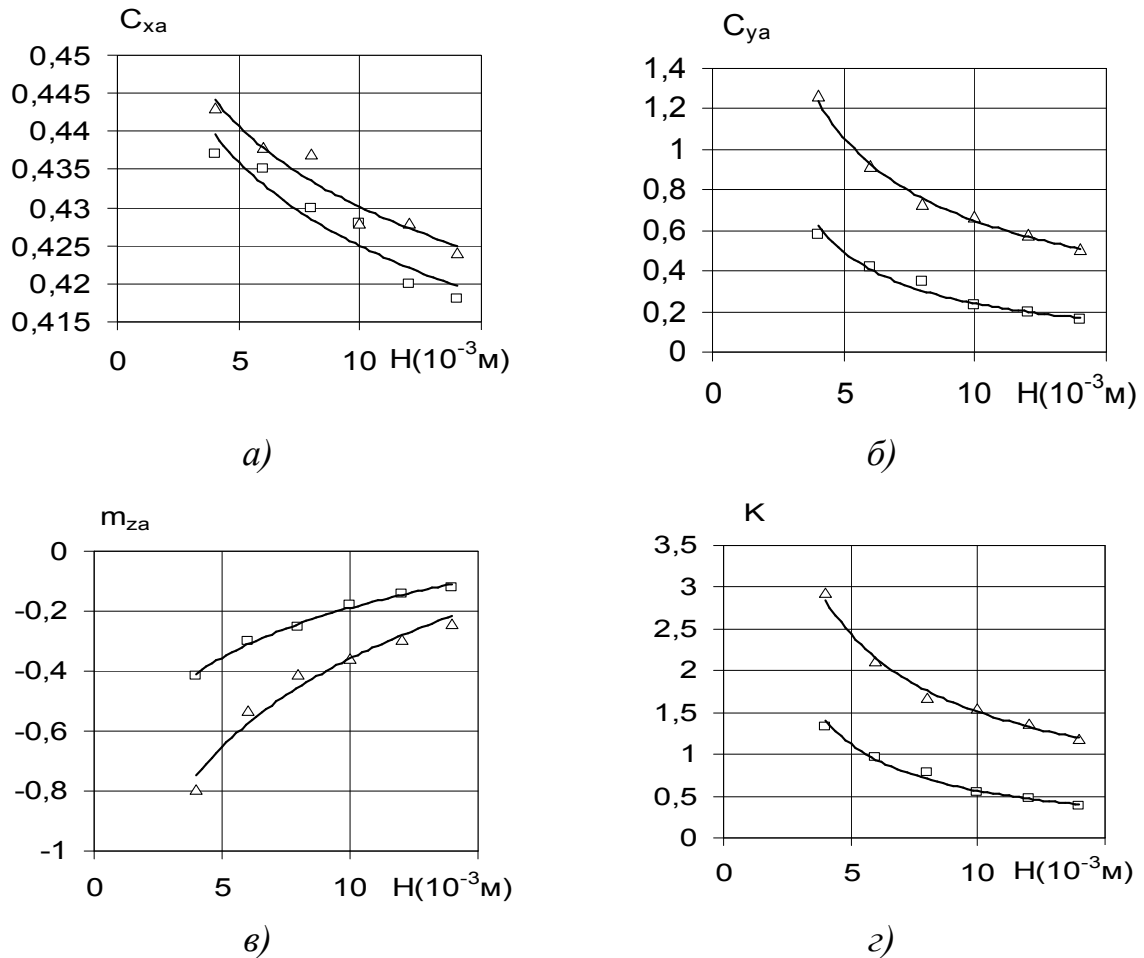


Рис. 7. Вплив відстані до поверхні профільованої шляхової структури на аеродинамічні характеристики транспортного апарата ТМ-2:

□ –  $\alpha = 0^\circ$ ;  $\Delta$  –  $\alpha = 1^\circ$

**Розділ 5. Математичне моделювання аеродинамічних процесів на основі рівнянь Нав'є–Стокса.** Наведено методику числового моделювання ламінарних та турбулентних тривимірних в'язких течій із використанням рівнянь Нав'є–Стокса у фізичних змінних, записаних у криволінійній неортогональній системі координат.

Дискретизація конвективних складових вихідних диференціальних рівнянь проводиться за протипотоковою схемою, схемою Леонардо другого та третього порядку точності, UMIST TVD, Ван-Ліра та розщепленням за фізичними процесами. Скінченно-різницевий аналог диференціальних рівнянь будується з використанням методу контрольного об'єму.

Розрахункові сітки будувались із використанням алгебраїчних методів та розв'язків диференціальних рівнянь у частинних похідних. У розроблених методах реалізовано одноблоковий та багатоблоковий підходи.

Верифікацію розроблених методик, алгоритмів та програм числового розв'язування рівнянь Нав'є–Стокса проведено на прикладі течії в кубічній каверні з рухомою верхньою кришкою, обтікання циліндра (рис. 8–10), профілю крила та кулі (рис. 11) для ламінарного та турбулентного режимів.



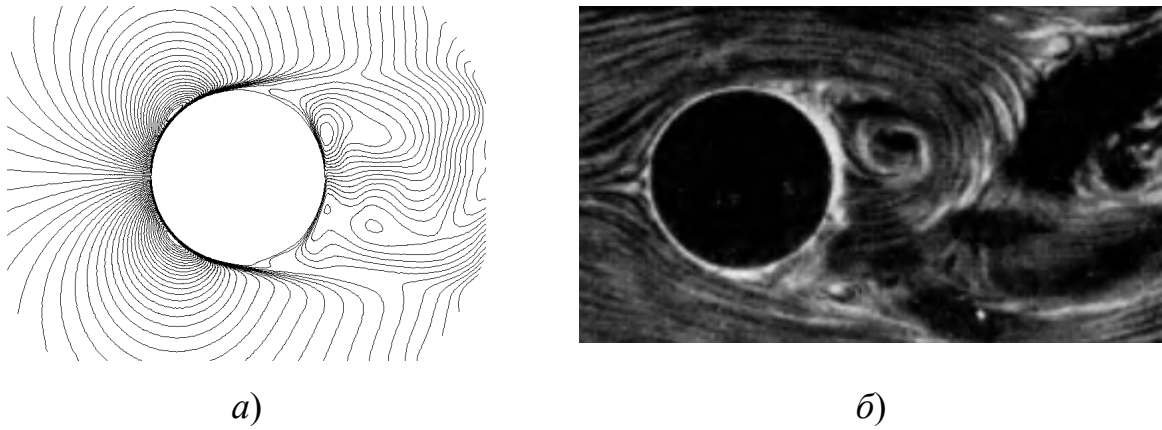


Рис. 8. Схід вихорової доріжки за циліндром:  
*a* – розрахунок ( $Re=10000$ ); *б* – експеримент [54]

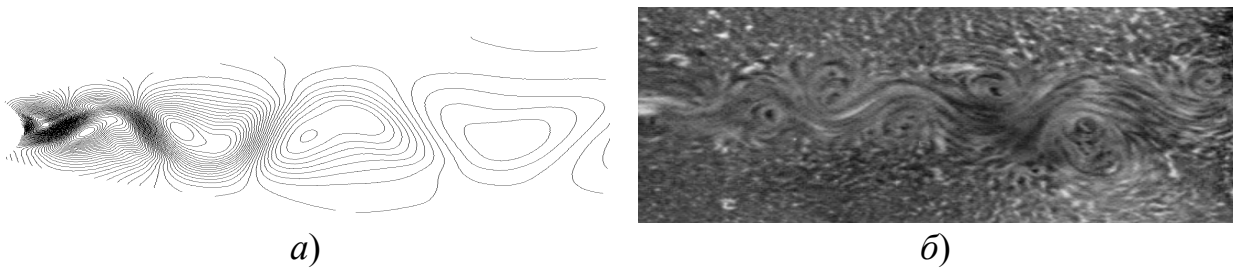


Рис. 9. Вихорова доріжка в сліді колового циліндра  
*a* – розрахунок ( $Re=19300$ ); *б* – експеримент ( $Re=19300$ ) [54]

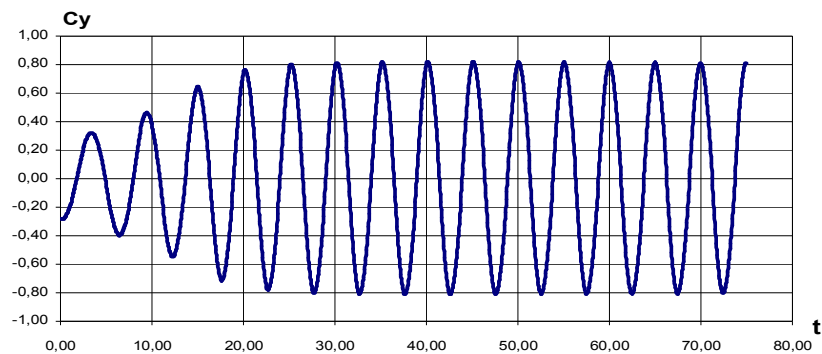


Рис. 10. Зміна коефіцієнта підйимальної сили колового циліндра у часі  
 ( $Re = 10000$ , турбулентний режим)

Отримано розподілені та інтегральні аеродинамічні характеристики. Результати розрахунків аналізуються та порівнюються з експериментальними даними.

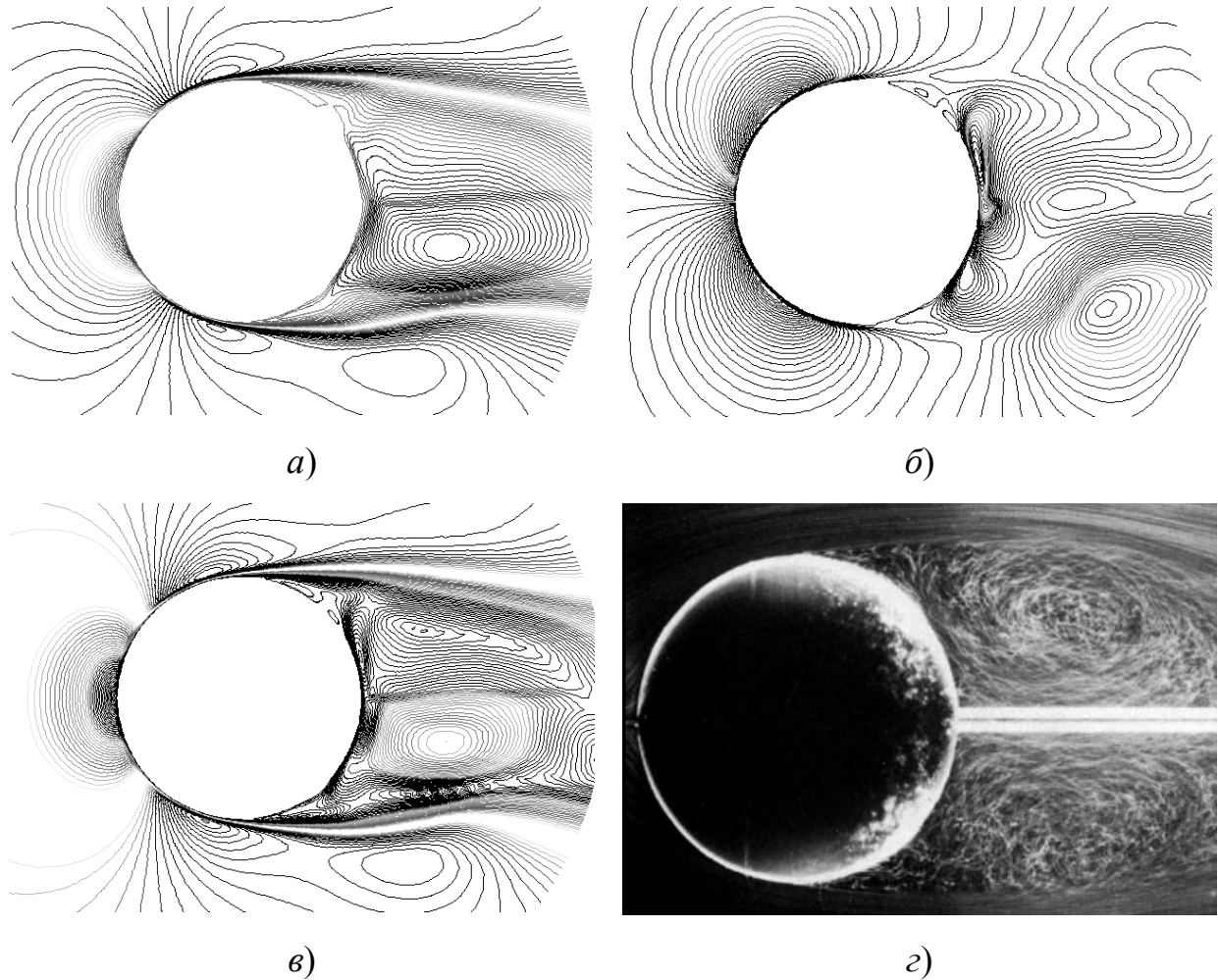


Рис. 11. Течія навколо кулі для  $Re = 15000$ :  
 а – розрахунок, ізолінії  $u$ ; б – розрахунок, ізолінії  $v$ ;  
 в – розрахунок, ізолінії числа  $M$ ; г – експеримент [54]

**Розділ 6. Математичне моделювання аеродинаміки перспективних транспортних апаратів на основі сингулярних інтегральних рівнянь.** Важливі прикладні задачі аеродинаміки зручно приводити до розв'язування сингулярних інтегральних рівнянь. Їх використання дозволяє отримувати прийнятні розв'язки з помірними затратами машинних ресурсів. Застосування моделі ідеальної рідини дозволяє сформулювати аеродинамічну задачу, як задачу Неймана для рівняння Лапласа:

$$\Phi_0(M_0) = \frac{1}{4\pi} \int_L \frac{\partial U_0(M, M_0)}{\partial \bar{n}_M} g(M) d\sigma_M, \quad M_0 \notin \sigma; \quad (10)$$

$$\Phi(M) = \frac{1}{4\pi} \int_L \frac{\partial U(M, M_0)}{\partial \bar{n}_M} g(M) d\sigma_M, \quad M_0 \notin \sigma, \quad (11)$$

де  $\bar{n}_M$  – орт нормалі до кривої  $L$  у точці  $M$ ;  $g(M)$  – густина потенціалу подвійного шару;  $M(x, y, z), M_0(x_0, y_0, z_0)$  – точки простору  $R^3$ ,  $M \neq M_0$ ,  $\bar{r}_{M, M_0} = \overline{MM_0}$ ,  $r_{M, M_0} = |\bar{r}_{M, M_0}| = MM_0$ .

Розроблена методика базується на використанні закону Біо–Савара для приєднаних та вільних вихорових рамок з урахуванням процесу дифузії в

сліді. Межові умови про непротікання поверхні обтікання ставилися в розрахункових точках, які розміщувалися в середині приєднаних вихорових рамок.

Виконано розрахунки аеродинамічних характеристик (АДХ) несучих систем транспортного засобу різноманітних форм у плані (рис. 12).

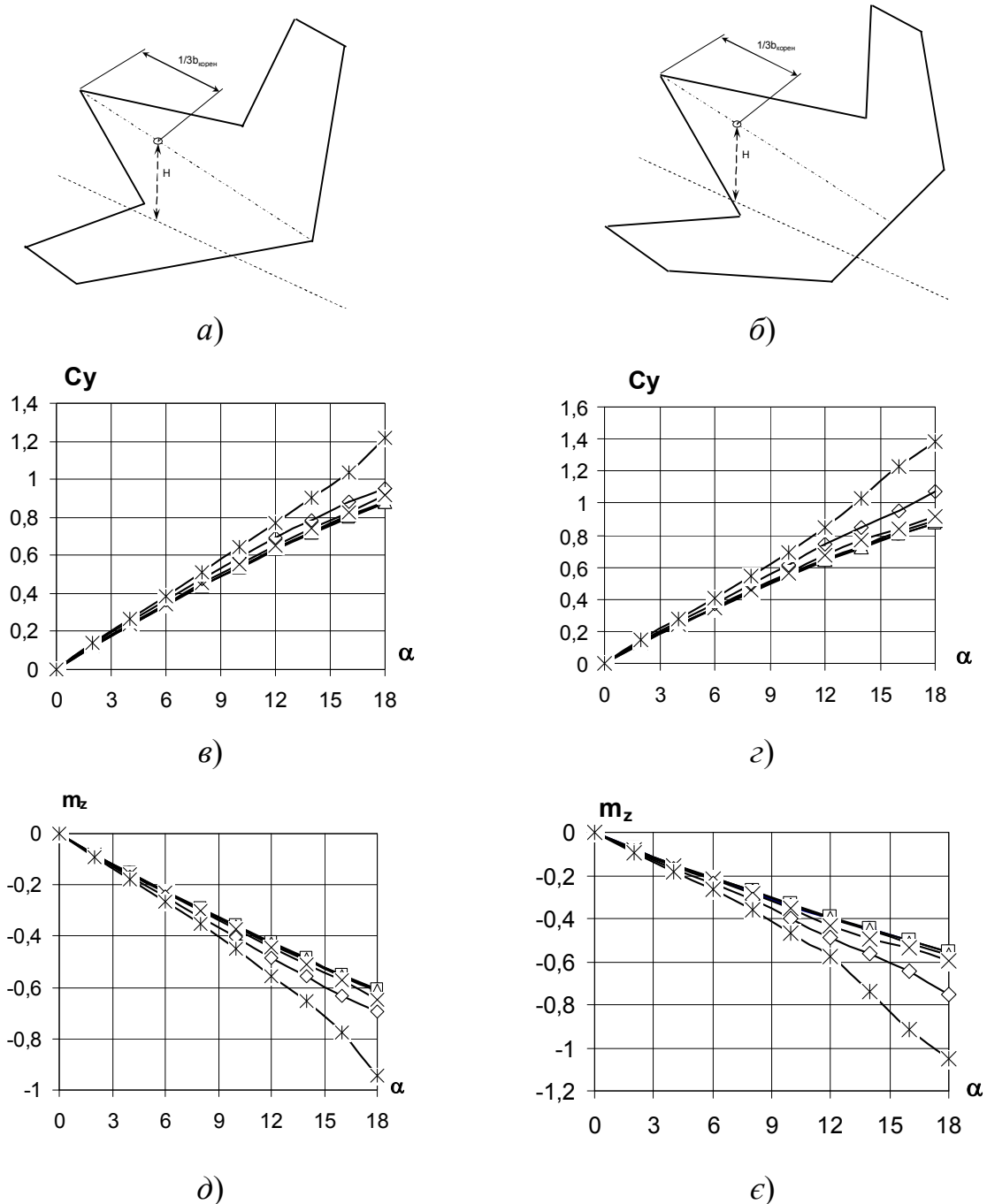


Рис. 12. Вплив кута атаки та відстані до шляхової структури на АДХ:  $a$  – від’ємна стрілоподібність крил;  $b$  – від’ємна стрілоподібність консолей;  $\circ$  –  $\bar{h} = \infty$ ;  $\square$  –  $\bar{h} = 3,0$ ;  $\Delta$  –  $\bar{h} = 2,0$ ;  $\times$  –  $\bar{h} = 1,5$ ;  $\diamond$  –  $\bar{h} = 1,0$ ;  $*$  –  $\bar{h} = 0,75$

Досліджено вплив відстані до шляхової структури на аеродинамічні характеристики несучих систем складної геометричної форми. Виконано

аналіз впливу геометрії несучої системи на статичну стійкість транспортного апарата.

**Розділ 7. Теоретичний аналіз аеродинаміки та динаміки руху перспективних швидкісних транспортних апаратів на надпровідних магнітах.** Розглянуто питання оцінки впливу шляхової структури на аеродинамічні характеристики швидкісного транспортного апарата. На основі виявлених залежностей величини лобового опору від довжини корпусу визначено оптимальне видовження транспортного апарата.

Розроблено наближено-аналітичну методику розрахунку аеродинамічних коефіцієнтів із застосуванням методу суперпозиції. На основі аналізу результатів експериментальних досліджень запропоновано ураховувати вплив шляхової структури на величини аеродинамічних коефіцієнтів за такими співвідношеннями:

$$C_{x,y,z \in tv}(\bar{h}) = C_{x,y,z \in tv} \left( 1 + k_{x,y,z 1 tv}^{-1} \pi \cdot \exp(-k_{x,y,z 2 tv} \cdot \bar{h}_{tv}) \right), \quad (12)$$

$$m_{x,y,z \in tv}(\bar{h}) = m_{x,y,z \in tv} \left( 1 + k_{mx,y,z 1 tv}^{-1} \pi \cdot \exp(-k_{mx,y,z 2 tv} \cdot \bar{h}_{tv}) \right), \quad (13)$$

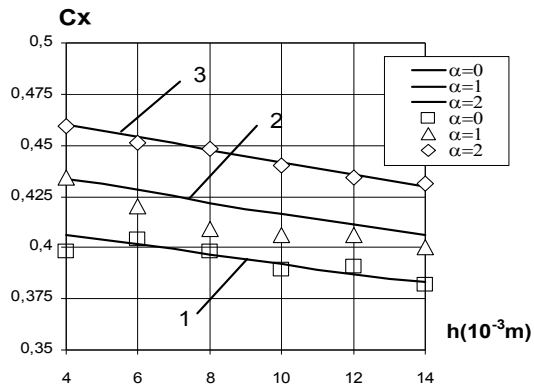
де  $C_{x,y,z \in tv}$ ,  $m_{x,y,z \in tv}$  – коефіцієнти аеродинамічних сил та моментів, визначені в умовах безмежного потоку;  $k_{x,y,z 1 tv}$ ,  $k_{mx,y,z 1 tv}$  – коефіцієнти, що визначаються шляхом теоретичних та експериментальних досліджень;  $\bar{h} = h/L$  – відносна відстань до шляхової структури;  $L$  – характерний розмір транспортного апарата;  $\pi = 3,14$ .

Для перевірки працездатності методики були розраховані аеродинамічні характеристики ряду транспортних апаратів. На рис. 13 показано вплив шляхової структури на величини аеродинамічних характеристик транспортних апаратів ТМ-1 та ТМ-2, отриманих експериментальним та розрахунковим шляхом.

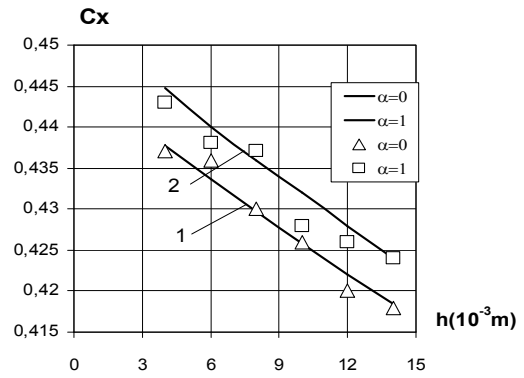
Розглянуто незбурений та збурений рух транспортного апарата на надпровідних магнітах. Для попередньої оцінки параметрів стійкості та керованості руху транспортного апарата його рух умовно розділено на поздовжній та боковий.

Виконано аналіз збуреного руху транспортного апарата на надпровідних магнітах.

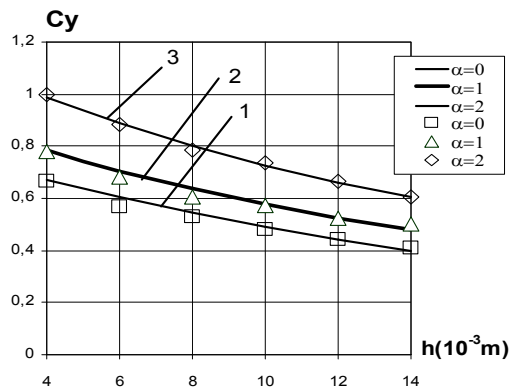
На основі операційного методу отримано узагальнені розв'язки рівнянь динаміки руху транспортного апарата на надпровідних магнітах. Отримані алгебраїчні співвідношення дозволяють оцінити вплив аеродинамічних та електродинамічних сил на динаміку поздовжнього та бокового рухів.



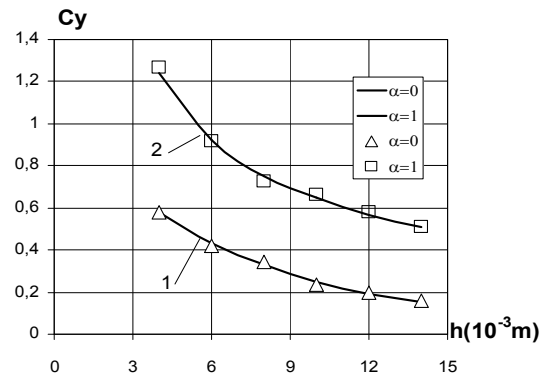
a)



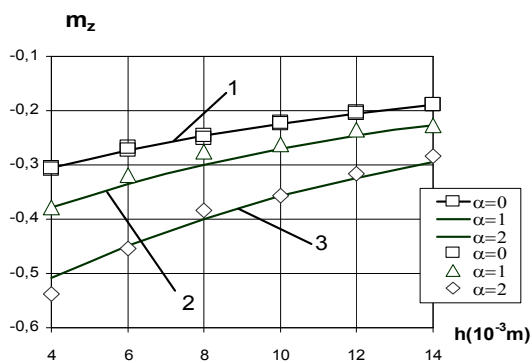
б)



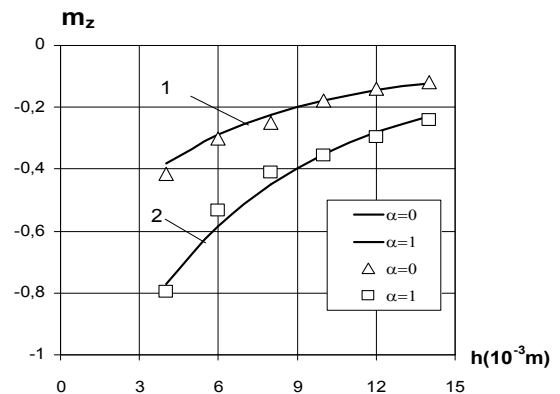
в)



г)



д)



е)

Рис. 13. Вплив відстані до шляхової структури та кута атаки на аеродинамічні коефіцієнти для крилових компонентів ТМ-1(а, в, д), ТМ-2(б, г, е):

— розрахунок;  $\square$ ,  $\Delta$ ,  $\diamond$ — експеримент; 1—  $\alpha = 0^\circ$ , 2—  $\alpha = 1^\circ$ , 3—  $\alpha = 2^\circ$

## Розділ 8. Методологія вибору раціонального аеродинамічного компонентування транспортного апарата на надпровідних магнітах.

Викладено методологію створення аеродинамічних компонентувань перспективних транспортних апаратів на надпровідних магнітах. Розроблено методику поетапного вибору раціонального аеродинамічного компонентування

перспективного транспортного апарата, що базується на таких моделях аеродинаміки: наближено-аналітичному методі, методі дискретних вихорів, осереднених за Рейнольдсом рівняннях Нав'є–Стокса (рис. 14). Вибір аеродинамічного компоновання виконується в рамках зв'язаної задачі аеродинаміки, електродинаміки та динаміки руху транспортного апарата на надпровідних магнітах. Як критерії оцінки досконалості аеродинамічного компоновання пропонується використовувати цільові функції: стартову масу та функцію енергетичних затрат на переміщення транспортного засобу. Для пошуку екстремуму цільових функцій застосований градієнтний метод.

Шляхом числового розв'язування осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є–Стокса проведено розрахунки аеродинамічних характеристик ряду аеродинамічних компоновань транспортних апаратів (рис. 15–19.)

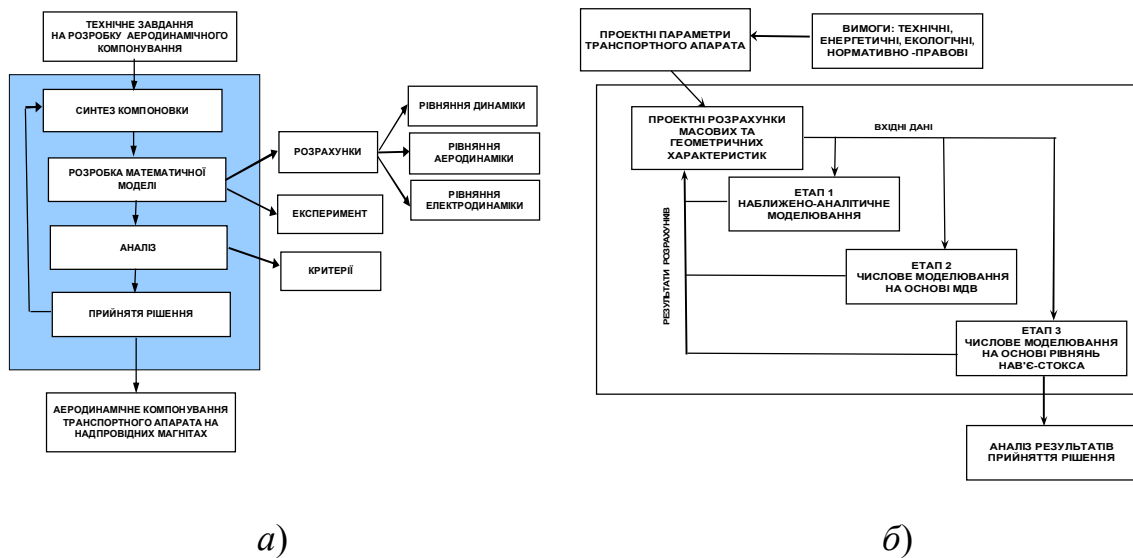


Рис. 14. Методологія формування аеродинамічного компоновання перспективного транспортного апарата на надпровідних магнітах: *а* – структура; *б* – етапи методології

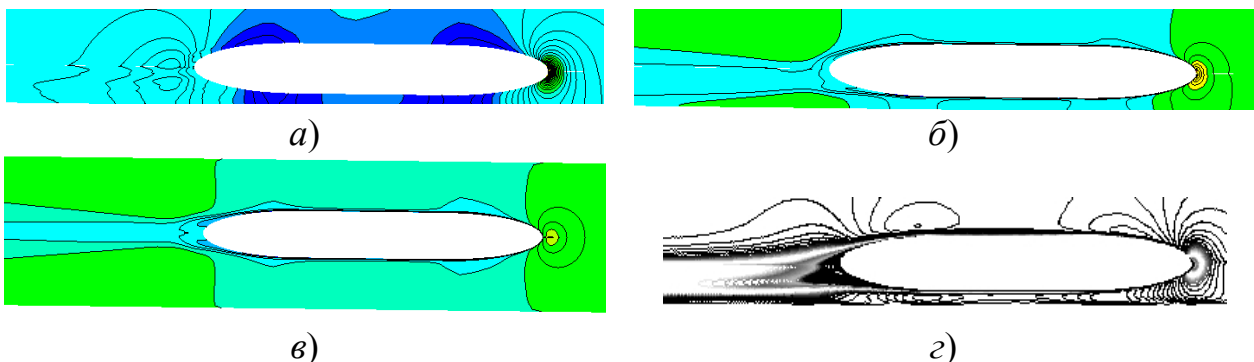


Рис. 15. Обтікання транспортного апарата з вісесиметричним корпусом поблизу шляхової структури: *а* – ізобари у площині  $XOY$  розрахункової області; *б* – ізолінії завихреності у площині  $XOY$  розрахункової області; *в* – ізолінії завихреності у площині  $XOZ$  розрахункової області; *г* – ізомахи у площині  $XOY$  розрахункової області

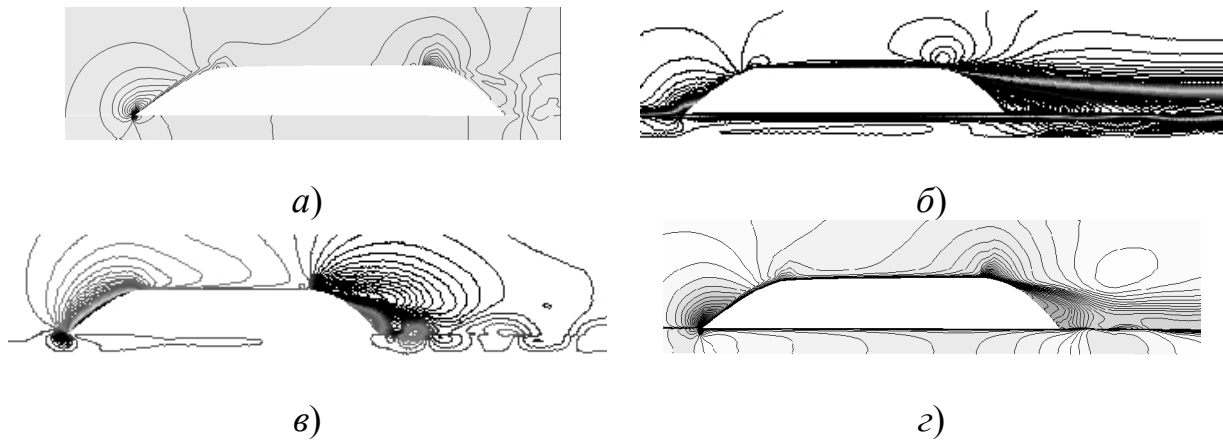


Рис. 16. Обтікання транспортного апарата з несучим корпусом поблизу шляхової структури: *a* – ізобари у площині  $XOY$  розрахункової області; *b* – ізомахи у площині  $XOY$  розрахункової області; *в* – ізолінії складової вектора швидкості  $v$  у площині  $XOZ$  розрахункової області; *г* – ізолінії завихреності у площині  $XOY$  розрахункової області

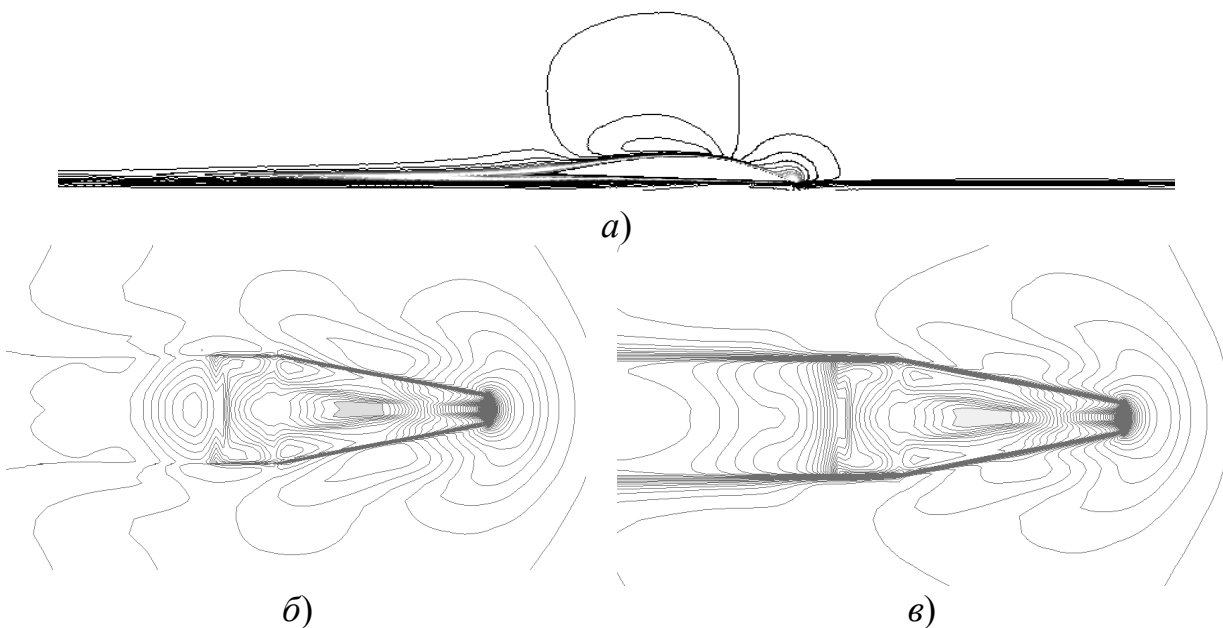


Рис. 17. Обтікання транспортного апарата типу несуче крило поблизу шляхової структури: *a* – ізомахи у площині  $XOY$  розрахункової області; *b* – ізобари у площині  $XOZ$  розрахункової області; *в* – ізолінії завихреності у площині  $XOZ$  розрахункової області

Розроблено і реалізовано математичну модель, метод, алгоритм та комплекс програм для розв'язування зв'язаної задачі аеродинаміки та динаміки руху транспортного апарата на надпровідних магнітах з урахуванням гравітаційних, магнітних та аеродинамічних сил і моментів. Розроблені методи базуються на моделях аеродинаміки різного рівня

складності: наближено-аналітичній, сингулярних інтегральних рівняннях, рівняннях Нав'є–Стокса.

Розв'язано зв'язану задачу аеродинаміки, електродинаміки та динаміки руху транспортного апарата на надпровідних магнітах класичного аеродинамічного компоновання з визначенням аеродинамічних характеристик наближено-аналітичним методом (рис. 20) та методом дискретних вихорів (рис. 21). У моделі електродинаміки передбачалося, що транспортний апарат рухається над суцільним струмопровідним полотном. Для числового розв'язування рівнянь динаміки руху транспортного апарата використовувався метод Рунге–Кутта другого порядку точності.

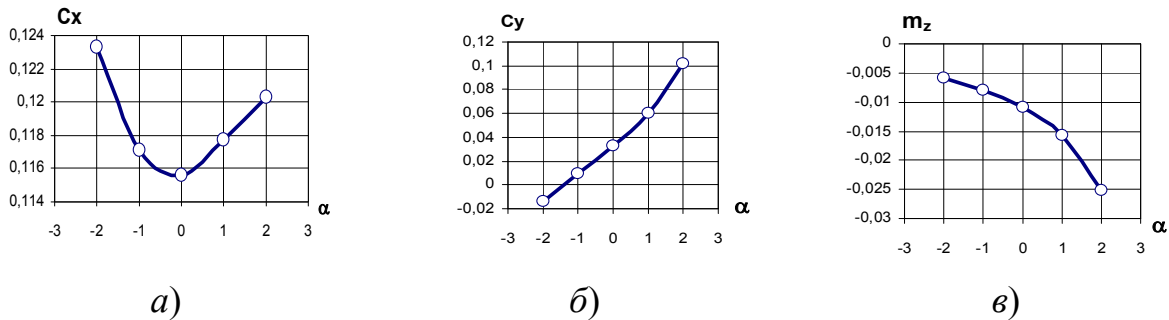


Рис. 18. Вплив кута атаки на аеродинамічні характеристики транспортного апарата типу несуче крило поблизу шляхової структури ( $\bar{h} = 0,25$ )

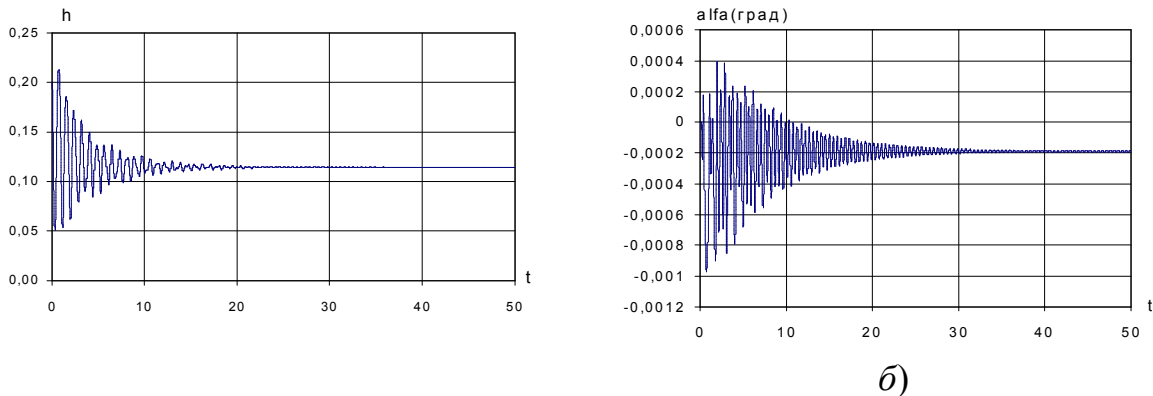


Рис. 19. Динаміка зміни відносної відстані до шляхової структури та кута атаки транспортного апарата на надпровідних магнітах за часом, розрахована наближено-аналітичним методом: *a* – відносна відстань; *б* – кут атаки

Розраховано динаміку руху транспортного апарата на надпровідних магнітах, що рухається над дискретною шляховою структурою (рис. 22). Аеродинамічні характеристики визначалися за допомогою наближено-аналітичного методу.

Виконано розрахунки зв'язаної задачі аеродинаміки, електродинаміки та динаміки руху транспортного апарата типу несуче крило з визначенням аеродинамічних характеристик на основі числового розв'язування



осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є–Стокса, замкнених диференціальною моделлю турбулентності Спаларта–Аллмараса в реалізації відокремлених вихорів (рис. 23). У моделі електродинаміки передбачалось, що транспортний апарат рухається над суцільним струмопровідним полотном. Для розв'язування рівнянь динаміки руху транспортного апарата використовувався метод Рунге–Кута другого порядку точності.

Дослідження проводилися за різних співвідношень аеродинамічних та магнітних сил. Тоді, коли аеродинамічна підйомна сила була в декілька раз більшою від магнітної левітаційної сили, при виникненні випадкового збурення коливання затухали (рис. 22).

У випадку, якщо аеродинамічна підйомна сила була в декілька раз меншою від магнітної левітаційної сили, при виникненні випадкового збурення коливання не затухали (рис. 23).

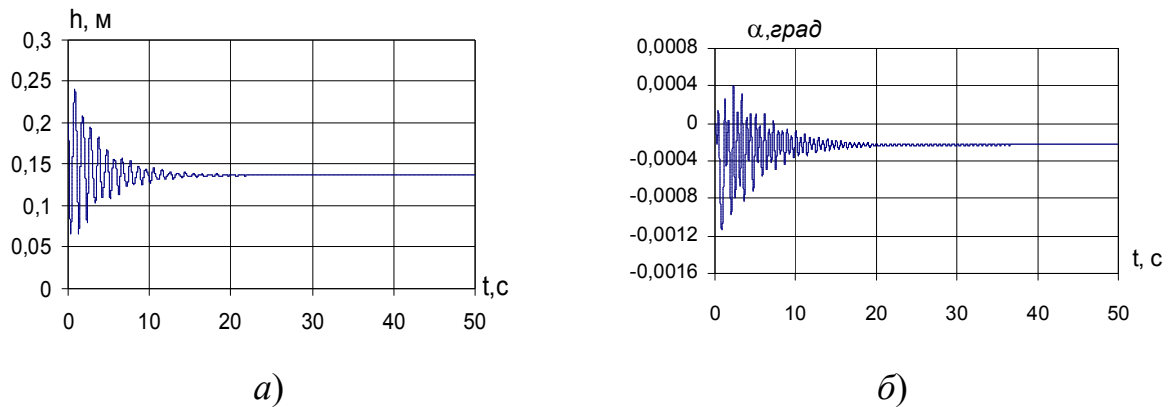
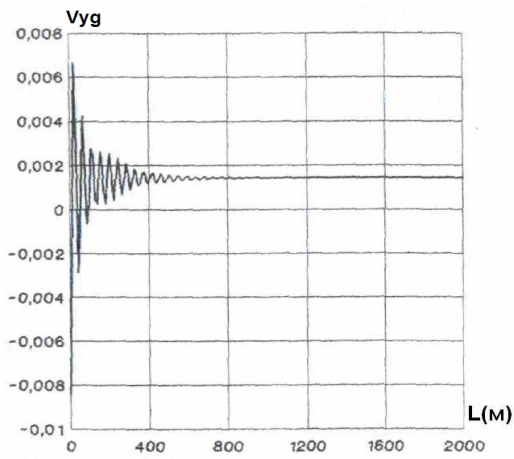


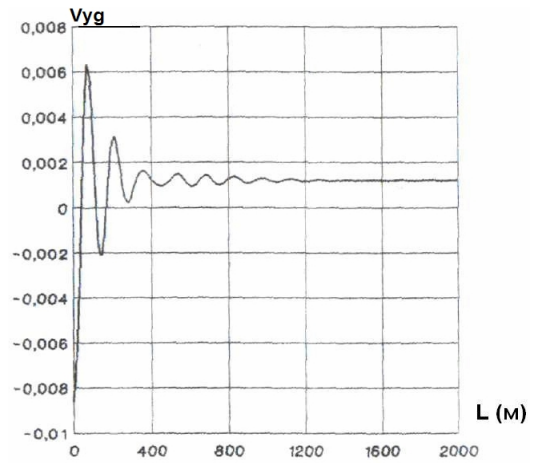
Рис.20. Динаміка зміни відстані до шляхової структури та кута тангажа транспортного апарата розрахована з використанням методу дискретних вихорів: а – відносна відстань до шляхової структури; б – кут тангажа

В Інституті транспортних систем та технологій НАН України розроблено діючий зразок швидкісного наземного транспортного апарата з раціональним аеродинамічним компонуванням, електродинамічним підвісом та лінійним синхронним двигуном із надпровідною обмоткою (рис. 24). Під час виконання проектних робіт використано результати вище наведених досліджень.



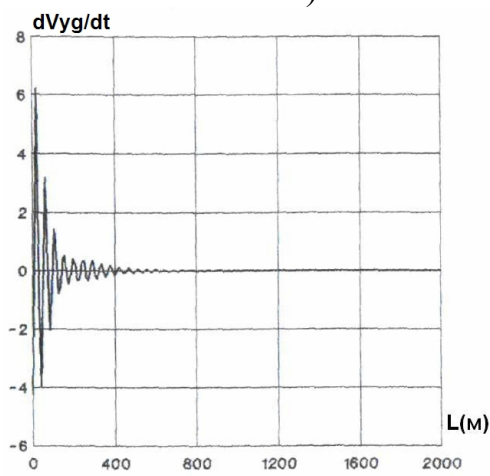
v=40m/c

a)



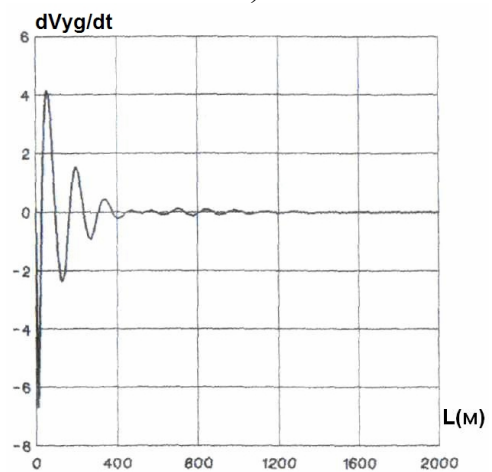
v=140m/c

б)



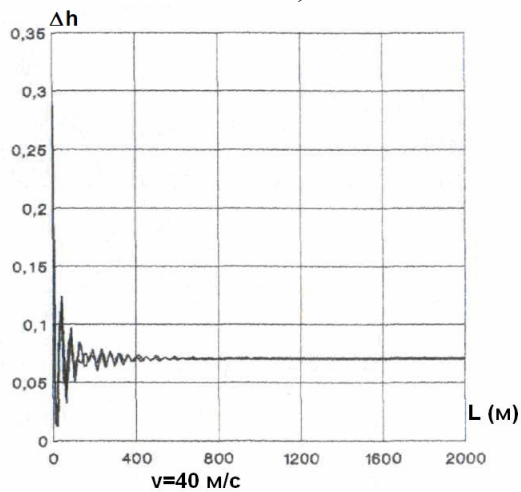
Vx=40 m/c

в)



Vx=140 m/c

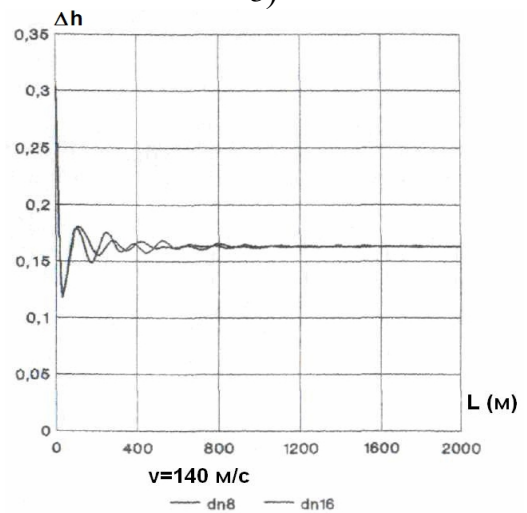
з)



v=40 m/c

— dn8 — dn16

д)



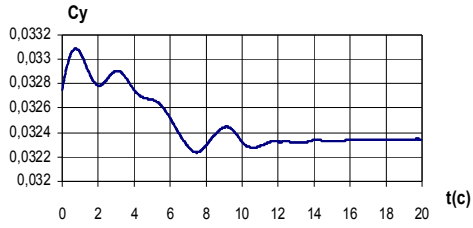
v=140 m/c

— dn8 — dn16

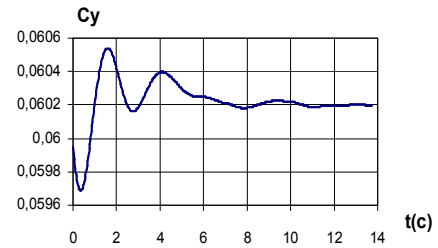
е)

Рис. 21. Вплив швидкостей руху на динаміку зміни кінематичних параметрів:

a–б – вертикальна швидкість; в–г – похідна вертикальної швидкості за часом; д–е – відстань до шляхової структури

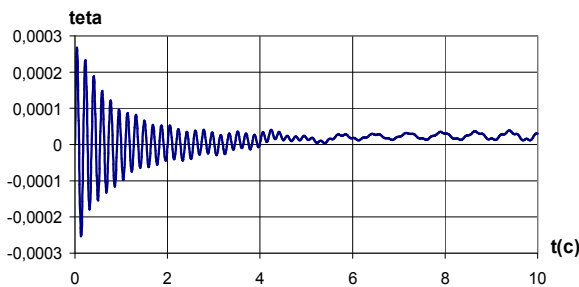


a)

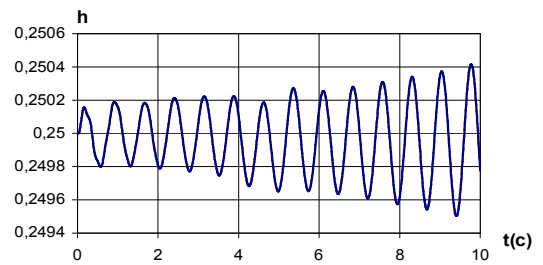


б)

Рис. 22. Динаміка зміни величини коефіцієнта підйомної сили транспортного апарата при виникненні збурення (*a* –  $\vartheta = 0^\circ$ , *б* –  $\vartheta = 1^\circ$ )



a)



б)

Рис. 23. Динаміка зміни величини кута тангажа та відстані до шляхової структури транспортного апарата при виникненні збурення



Рис. 24. Дослідний зразок транспортного засобу

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота є науковою працею, у якій розроблено наукові положення та отримано науково обґрунтовані результати, що розв'язують важливу науково-прикладну проблему розробки теоретичних основ створення аеродинамічних компонувань перспективних швидкісних транспортних апаратів на надпровідних магнітах. Основні наукові результати, отримані під час досягнення основної мети дослідження такі:

1. Проведено аналіз моделей та методів аеродинаміки з метою їх застосування для вибору раціональних аеродинамічних компонувань транспортних апаратів на надпровідних магнітах. Невеликі відстані до шляхової структури обмежують кінематичні параметри, що не дозволяє проводити динамічні експерименти для оцінки впливу аеродинамічних ефектів на динаміку руху швидкісного транспортного засобу сучасними методами фізичного моделювання в аеродинамічних трубах.

2. Дослідження взаємодії аеродинамічних, електродинамічних, гравітаційних та інерційних навантажень магнітолевітуючого транспортного засобу, їх узагальнення та теоретичний аналіз показали, що задача оцінки впливу аеродинамічних сил на його динаміку має розглядатися в рамках зв'язаної задачі аеродинаміки, електродинаміки та динаміки руху транспортного апарата з урахуванням усіх видів навантажень. У зв'язку з цим актуальною науково-прикладною проблемою є розробка комплексної математичної моделі аеродинаміки та динаміки руху транспортного апарата.

3. За результатами математичного моделювання, узагальнення експериментальних та теоретичних досліджень аеродинаміки та динаміки руху транспортного апарата вперше запропоновано методологію формоутворення аеродинамічного компонування швидкісного магнітолевітуючого транспортного засобу, основними складовими якої є:

- наближено-аналітичний метод, алгоритм та програмне забезпечення для визначення аеродинамічних параметрів транспортного апарата;
- методики, алгоритми та програмне забезпечення на основі використання сингулярних інтегральних рівнянь для математичного моделювання нелінійних нестационарних аеродинамічних процесів при обтіканні компоновки транспортного засобу просторовим потоком;
- методики, алгоритми та програмне забезпечення на основі числового розв'язування осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є–Стокса, замкнених моделлю турбулентності Спаларта–Аллмараса в реалізації відокремлених вихорів;
- методи фізичного моделювання обтікання моделі транспортного засобу поблизу шляхової структури.

4. Запропоновано комплексний підхід до математичного моделювання аеродинаміки транспортного апарата на надпровідних магнітах, що ґрунтується на числовому розв'язуванні рівнянь Нав'є–Стокса, сингулярних

інтегральних рівнянь, на наближено-аналітичному методі, сумісному розв'язуванні зв'язаної задачі аеродинаміки та динаміки руху транспортного апарата.

5. На підставі результатів експериментальних досліджень, математичного моделювання та числового розв'язування зв'язаної задачі аеродинаміки та динаміки руху транспортного апарата, теоретичного аналізу диференціальних рівнянь динаміки руху транспортного апарата під дією аеродинамічних, магнітних, гравітаційних та інерційних сил вперше запропоновано наближено-аналітичну методику для оцінки впливу електродинамічних, інерційних, гравітаційних та аеродинамічних навантажень на динаміку руху перспективного транспортного апарата на надпровідних магнітах.

6. Вироблено рекомендації щодо покращання аеродинамічних характеристик перспективних швидкісних транспортних апаратів та позитивного використання виявлених фізичних ефектів на динаміку та безпеку руху, що базуються на проведених експериментальних дослідженнях, математичному моделюванні та теоретичному аналізі фізичних явищ, які спостерігалися при обтіканні моделей транспортних засобів.

7. Запропоновано аеродинамічне компонування зі змішаною системою динамічної підтримки: аеродинамічною та електродинамічною перспективного транспортного апарата на надпровідних магнітах, яка дозволяє забезпечити придатні параметри руху поблизу шляхової структури та раціональне використання аеродинамічних ефектів, що підтверджують проведені теоретичні та числові дослідження.

Вірогідність і обґрунтованість наукових положень та висновків підтверджується результатами фізичного моделювання в аеродинамічних трубах, збіжністю результатів, отриманих теоретично з експериментальними даними.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Приходько А. А. Математическое и экспериментальное моделирование аэродинамики транспортных систем вблизи земли / О. А. Приходько, А. В. Сохацкий. – Днепропетровск: Наука и образование, 1998. – 154 с.

2. Приходько О.А. Факторизована схема розв'язку рівнянь Нав'є-Стокса в змінних вихор-функція течії / О. А. Приходько, А. В. Сохацький // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. – 1998. – Т. 3. – С. 99–104.

3. Сохацький А. В. Розрахунок тиску з використанням тричлена Бернуллі / А. В. Сохацький // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. – 1998. – Т. 3. – С. 122–125.

4. Сохацький А. В. Побудова розрахункових сіток застосуванням диференціальних рівнянь / А. В. Сохацький // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. – 1998. – Т. 3. – С. 126–129.

5. Сохацький А. В. Методика чисельного розрахунку тиску в течіях нестисливої рідини / А. В. Сохацький // Вісник Дніпропетровського університету. Механіка. – 1998. – Вип. 1, Т. 1. – С. 138–140.

6. Приходько А. А. Численное и экспериментальное моделирование процессов аэродинамики элементов несущих систем вблизи экрана /А. А. Приходько, А. В. Сохацкий // Вісник Дніпропетровського університету. Механіка. – 1998. – Вип. 1, Т. 1. – С. 29–37.

7. Приходько А. А. К расчету обтекания элементов несущих систем вблизи поверхности земли. / А. А.Приходько, А. В. Сохацкий //Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. – 1998. – Т. 1. – С. 61–65.

8. Приходько О. А. Застосування рівнянь Нав'є-Стокса для розрахунку обтікання автомобіля / О. А. Приходько, А. В. Сохацький // Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. – 1998. – С. 39–44.

9. Приходько О. А. Експериментальне та математичне моделювання обтікання профілю крила на малих відстанях до землі / О. А. Приходько, А. В. Сохацький // Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. – 1999. – Вип. 1.– С. 460–464.

10. Приходько О. А. Чисельне дослідження обтікання профілю крила поблизу землі методом дискретних вихорів / О. А. Приходько, А. В. Сохацький // Методы дискретных особенностей в задачах математической физики. – Х. : ХГУ, 1999. – С. 113-117.

11. Сохацький А. В. Математичне моделювання течій в'язкої рідини з використанням рівнянь Нав'є-Стокса / А. В. Сохацький // Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут.”– 2000. – Вип. 38, Т. 2. – С. 110–113.

12. Приходько О. А. Дослідження відривних течій нестисливої рідини на основі рівнянь Нав'є-Стокса на криволінійних сітках /О. А. Приходько, А. В. Сохацький // Вісник Дніпропетровського університету. . Механіка. – 2000. – Вип. 3, Т. 1 – С. 81–86.

13. Приходько О. А. Експериментальні дослідження аеродинамічних характеристик крилатого корпусу транспортного апарата / О. А. Приходько, А. В. Сохацький // Вісник Академії митної служби України. – 2000. –№ 3(7). – С. 40–44.

14. Приходько О. А. Дослідження просторових нестисливих течій у системах транспортних засобів на основі рівнянь Нав'є-Стокса /О. А. Приходько, А. В. Сохацький // Вестник Харьковского национального

технического университета, “Харьковский политехнический институт”. – 2001.– Вып. 129, Часть 1. – С. 141–146.

15. Приходько А. А. Применение математического моделирования в аэродинамике наземных высокоскоростных транспортных средств /А. А. Приходько, А. В. Сохацкий // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2001. –№ 3(12).– С. 226–230.

16. Сохацкий А. В. Застосування схеми Біма-Уормінга для чисельного розв’язування тривимірних рівнянь Нав’є-Стокса, записаних у криволінійній неортогональній системі координат / А. В. Сохацкий // Вісник Дніпропетровського університету. Механіка.– 2001. – Вип. 5, Т. 1. –С. 61–65.

17. Приходько А. А. К расчету аэродинамических характеристик высокоскоростных наземных транспортных средств / А. А. Приходько, А. В. Сохацкий // Вестник Национального технического университета Украины, “Киевский политехнический институт”, Машиностроение.”– 2002 – Вип. 42, Т. 1, № 42.– С. 95–99.

18. Сохацкий А. В. Чисельний розв’язок тривимірних рівнянь Нав’є-Стокса у криволінійній неортогональній системі координат /А. В. Сохацкий// Вестник Национального технического университета Украины, “КПИ”, “Машиностроение”. –2002 – Вип. 42, Т. 1, № 42 – С. 27–29.

19. Приходько О. А. Застосування методу розщеплення до математичного моделювання тривимірних течій нестисливої рідини на основі рівнянь Нав’є-Стокса / О. А. Приходько, А. В. Сохацкий // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2002. –№ 2(15). – С. 527-530.

20. Заславський Б. Л. Аеродинамічне моделювання шляхових структур транспортних засобів на надпровідних магнітах / Б. Л. Заславський, О. А. Приходько, А. В. Сохацкий // Вісник Донецького національного університету. Сер. А. Природничі науки.– 2002. Вип. 1. – С. 180–184.

21. Prykhodko O. A. On the aerodynamic calculation of high-speed ground transport vehicles / O. A. Prykhodko, A. V. Sokhatsky // “17th international conference on magnetically levitated Systems and linear drives” Swiss Federal Institute of technology. – Lausanne, 2002. N PP05201. – 11P.

22. Сохацкий А. В. Про точність чисельного розв’язку диференціальних рівнянь в задачах моделювання операцій /А. В. Сохацкий // Вісник Академії митної служби України. – 2002. –№ 3(15). – С. 86–90.

23. Приходько О. А. До проблеми створення перспективних високошвидкісних наземних транспортних засобів / О. А. Приходько, А. В. Сохацкий // Вісник Академії митної служби України.– 2002. –№ 4(16). – С. 79–85.

24. Сохацкий А. В. Розрахунок просторової течії навколо кулі шляхом розв’язування тривимірних рівнянь Нав’є-Стокса / А. В. Сохацкий // Вісник Дніпропетровського університету. Механіка.– 2002. – Вип. 6, Т. 1. –С. 87–92.

25. Сохацький А. В. Розрахунок обтікання крила поблизу землі за дискретною вихоровою схемою / А. В. Сохацький // Вісник Харківського національного університету, серія “Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління.” – 2003. – №590. – С. 225–229.

26. Сохацький А. В. Математичне моделювання тривимірних течій нестисливої рідини на основі рівнянь Нав’є-Стокса в прирощеннях /А. В. Сохацький // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2003. – № 3(19). – С. 398–401.

27. Приходько О. А. Аеродинамічний експеримент з моделлю транспортного апарату на надпровідних магнітах / О. А. Приходько, А. В. Сохацький // Вісник Сумського державного університету. – 2003. – № 12(589). – С. 125–128.

28. Сохацький А. В. До оцінки експериментальних методів визначення аеродинамічних характеристик наземних транспортних засобів /А. В. Сохацький // Вісник Академії митної служби України. – 2003. – № 1(17). – С. 79–90.

29. Сохацький А. В. До питання виконання законів збереження при чисельному розв’язуванні диференціальних рівнянь переносу /А. В. Сохацький // Вісник Академії митної служби України. – 2003. – № 2(18). – С. 48–52.

30. Сохацький А. В. До проблеми пошуку шляхів підвищення експлуатаційних властивостей транспортних засобів / А. В. Сохацький // Вісник Академії митної служби України. – 2003. – № 3(19). – С. 57-61.

31. Сохацький А. В. Деякі питання розрахунку функцій метричних коефіцієнтів диференціальних рівнянь при моделюванні складних процесів / А. В. Сохацький // Вісник Академії митної служби України. – 2003. – № 4(20). – С. 51–57.

32. Приходько А. А. Чисельне моделювання просторових течій на основі рівнянь Нав’є-Стокса /О. А. Приходько, А. В. Сохацький // Збірник наукових праць Національного технічного університету України, “КПІ.” – 2004. – Вип. 4 (6). – С. 117–122.

33. Сохацький А. В. До питання забезпечення поздовжньої стійкості магнітолевітуючого транспортного засобу розрахунку / А. В. Сохацький // Вісник Академії митної служби України. – 2004. – № 1(21). – С. 71–75.

34. Сохацький А. В. Методика чисельного розв’язку рівнянь Нав’є-Стокса для двовимірних стисливих течій в криволінійній системі координат/ А. В. Сохацький, О. А. Сохацький // Вісник Академії митної служби України. – 2004. – № 2(22). – С. 90–94.

35. Сохацький А. В. Оцінка несучих властивостей високошвидкісного крилевого транспортного засобу на надпровідних магнітах /А. В. Сохацький // Вісник Академії митної служби України. – 2005. – № 1(25). – С. 57–62.

36. Приходько О. А. Чисельне моделювання аеродинаміки високошвидкісного наземного транспортного засобу / О. А. Приходько,



О. Б. Польовий, А. В. Сохацький // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – 2005. – №1. – С. 166–171.

37. Сохацький А. В. Оцінка бокових аеродинамічних навантажень на магнітолевітуючий транспортний засіб від впливу бокового вітру /А. В. Сохацький // Вісник Академії митної служби України. – 2005. – № 2(26). – С. 80–84.

38. Сохацький А. В. До питання точності чисельного розв'язування рівнянь Нав'є-Стокса / А. В. Сохацький // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2005. – №2(22). – С. 293–297.

39. Сохацький А. В. Математичне моделювання динаміки та аеродинаміки транспортного засобу на надпровідних магнітах /А. В. Сохацький // Вісник Харківського національного університету. Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи». – 2005. – Вип. 5, № 703. – С. 207–213.

40. Сохацький А. В. До постановки зв'язаної задачі аеродинаміки та динаміки руху магнітолевітуючого транспортного засобу /А. В. Сохацький // Вісник Академії митної служби України. – 2005. – № 3(27). – С. 71–78.

41. Computational and wind tunnel experiment in high-speed ground vehicle aerodynamics /A. A. Prykhodko, A. V. Sohatsky, O. B. Polevoy, A. V. Mendriy // “19th international conference on magnetically levitated systems and linear drives” Swiss Federal Institute of technology. – Drezden, 2006. – Т. 2, – Р. 118–123.

42. Сохацький А. В. Застосування сингулярних інтегральних рівнянь для чисельного моделювання аеродинаміки несучих систем транспортних засобів /А. В. Сохацький // Вісник Академії митної служби України. – 2006. – № 3(27). – С. 81–88.

43. Сохацький А. В. До питання аналізу власної поздовжньої стійкості високошвидкісного магнітолевітуючого транспортного засобу /А. В. Сохацький // Вісник Академії митної служби України. – 2007. – № 1(33). – С. 70–75.

44. Вычислительный и физический эксперимент с моделью высокоскоростного наземного транспортного средства / А. А. Приходько, О. Б. Полевой, А. В Мендрий, А. В Сохацкий // Вісник східноукраїнського національного університету імені В.Даля. – 2007. – Част. 2, №(109). –С. 123–127.

45. Заславський Б. Л. Концепція високошвидкісного двофюзеляжного транспортного засобу з аеродинамічною левітацією / Б. Л.Заславський, А. В. Сохацький // Вісник Академії митної служби України. – 2007. – № 2(34). – С. 85–92.

46. Приходько О. А. До проблеми аналізу стійкості руху високошвидкісного магнітолевітуючого транспортного засобу / О. А. Приходько, А. В. Сохацький // Вестник Херсонского национального технического университета.– 2007. – № 2(28). – С. 275–280.

47. Сохацький А. В. Оцінка точності аеродинамічного експерименту з моделлю високошвидкісного транспортного засобу /А. В. Сохацький // Вісник Академії митної служби України. – 2007. – № 4(36), – С. 79–85.

48. Приходько О. А. Чисельне моделювання течії навколо високошвидкісного транспортного засобу з використанням рівнянь Нав'є-Стокса / О. А. Приходько, А. В. Сохацький // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2008. – №2(31). – С. 407–411.

49. Сохацький А. В. Метод побудови розв'язку зв'язаної задачі аеродинаміки та динаміки руху високошвидкісного магнітолевітуючого транспортного засобу /А. В. Сохацький // Вісник Академії митної служби України. – 2008. – № 3(39). – С. 90–97.

50. Сохацький А. В. Метод оцінки параметрів стійкості поздовжнього збуреного руху високошвидкісного магнітолевітуючого транспортного засобу /А. В. Сохацький // Вісник Академії митної служби України. – 2008. – № 4(40). – С. 147–154.

51. Сохацький А. В. Концепція формування аеродинамічного компонування високошвидкісного транспортного апарату на надпровідних магнітах /А. В. Сохацький // Вісник Академії митної служби України, серія “Технічні науки”. – 2009. – № 1(41). – С. 131–139.

52. Приходько А. А. Формирование аэродинамической компоновки высокоскоростного транспортного средства на сверхпроводящих магнитах /А. А. Приходько, А. В. Сохацкий// Збірник наукових праць Харківського національного університета “Методы дискретных особенностей в задачах математической физики”. – Харків: ХНУ, 2009. – №2(31). – С. 149–152.

53. Приходько О. А. Чисельне моделювання обтікання кулі на основі рівнянь Нав'є-Стокса / О. А. Приходько, А. В. Сохацький // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2009. – № 2(35). – С. 369–373.

54. Сохацький А. В. До питання оптимізації аеродинамічного компонування транспортного апарату на надпровідних магнітах /А. В. Сохацький // Вісник Академії митної служби України, серія «Технічні науки». – 2009. – № 2(42). – С. 54–60.

55. Сохацький А. В. Розрахунок обтікання корпусу транспортного апарату з використанням осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-Стокса /А. В. Сохацький // Вісник Академії митної служби України, серія “Технічні науки”. – 2010. – № 1(43). – С. 39–45.

56. Приходько А. А. Математическое моделирование в аэродинамике наземных транспортных средств: Проблемы, модели, методы, результаты /А. А. Приходько, А. В. Сохацкий// Математическое моделирование в образовании, науке и промышленности. – Санкт-Петербург: МАНВШ, 2000. – С. 149–152.

57. Приходько А. А. Математическое и экспериментальное моделирование в околоэкранной аэродинамике /А. А. Приходько, А. В. Сохацкий

//Труды международной конференции “Современные проблемы прикладной математики и механики: теория, эксперимент, практика”.–Новосибирск : Институт вычислительных технологий СО РАН. – 2000.–11с.

58. Сохацький А. В. Прогнозування роботи транспортних систем з використанням математичного моделювання -як спосіб їх удосконалення /А. В. Сохацький // Збірник доповідей 3-ї Міжнародної науково-практичної конференції “Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики.” – Київ : Мін. тран. України. – 2001. – С. 63 – 66.

59. Сохацький А. В. До оцінки точності чисельного експерименту з використанням тривимірних рівнянь Нав'є–Стокса в приростах /А. В. Сохацький // Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції “АВІА-2003”, Інформаційно-діагностичні системи. – Київ : Національний авіаційний університет, 2003. – Т. 1.– С. 14.213–14.216.

60. Расчет безотрывного обтекания телесной несущей поверхности идеальной жидкостью /В. А. Дзензерский, А. А. Приходько, Н. М. Хачапуридзе, А. В. Сохацкий // Труды X международного симпозиума Методы дискретных особенностей в задачах математической физики (МДОЗМФ-2001).– Херсон : ХТУ, 2001. – С. 108–112.

61. Сохацький А. В. Магнітоплан - транспортна система майбутнього /А. В. Сохацький // Збірник доповідей 5-ї Міжнародної науково-практичної конференції “Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики”.– Київ : Мін. тран. України, 2003. – С. 70–75.

62. Приходько А. А. Вычислительный и трубный эксперимент в аэродинамике высокоскоростных наземных транспортных средств /А. А. Приходько, А. В. Сохацкий // Матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції “АВІА-2004”, Т. III, Виробництво та експлуатація авіаційної техніки.– Київ : Національний авіаційний університет, 2004. – С. 33.40–33.46.

63. Сохацький А. В. Застосування методу дискретних вихорів для дослідження динаміки транспортного засобу на надпровідних магнітах /А. В. Сохацький // Труды XII Международного симпозиума “Методы дискретных особенностей в задачах математической физики” (МДОЗМФ-2005) Харьков-Херсон : Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, 2005. – С. 331–334.

64. Сохацький А. В. Застосування методу дискретних вихорів при розв'язуванні зв'язаних задач динаміки та аеродинаміки крилатих транспортних засобів /А. В. Сохацький // Збірник наукових праць «Труды XIII международного симпозиума “Методы дискретных особенностей в задачах математической физики” – Харків : Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, 2007. – С. 282–285.

## АНОТАЦІЯ

Сохацький А. В. Теоретичні основи створення аеродинамічних компонувань перспективних швидкісних транспортних апаратів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.07.01 – аеродинаміка та газодинаміка літальних апаратів. – Національний авіаційний університет, м. Київ, 2010.

Дисертацію присвячено розв'язанню проблеми створення раціональних аеродинамічних компонувань перспективних швидкісних транспортних апаратів на надпровідних магнітах.

Наведено результати експериментальних досліджень аеродинамічних характеристик моделей транспортних апаратів в аеродинамічних трубах.

Розроблено методологію формування аеродинамічного компонування транспортного апарата на надпровідних магнітах, що базується на сумісному розв'язування зв'язаної задачі аеродинаміки, електродинаміки та динаміки руху з використанням моделей і методів різного рівня складності: наближено-аналітичного, сингулярних інтегральних рівнянь, осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є–Стокса.

**Ключові слова:** математичне моделювання, аеродинамічне компонування, аеродинамічні характеристики, числове моделювання, динаміка руху, метод дискретних вихорів, рівняння Нав'є–Стокса.

## АННОТАЦИЯ

Сохацкий А. В. Теоретические основы создания аэродинамических компоновок перспективных скоростных транспортных аппаратов. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.07.01 – аэродинамика и газодинамика летательных аппаратов. – Национальный авиационный университет, г. Киев, 2010.

Диссертация посвящена решению проблемы создания рациональных аэродинамических компоновок перспективных скоростных транспортных аппаратов на сверхпроводящих магнитах.

Проведены экспериментальные исследования аэродинамических характеристик моделей транспортных аппаратов в аэродинамических трубах.

Разработана методология формирования аэродинамической компоновки транспортного аппарата на сверхпроводящих магнитах, которая основывается на совместном решении связанной задачи аэродинамики, электродинамики и динамики движения с использованием моделей и методов разного уровня сложности: приближенно-аналитического, сингулярных интегральных уравнений, осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье–Стокса.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, аэродинамическая компоновка, аэродинамические характеристики, численное моделирование, динамика движения, метод дискретных вихрей, уравнения Навье–Стокса.

**SUMMARY****Sokhatsky A.V. Theoretical bases of designing the aerodynamic configurations of promising high-speed transport vehicles. – Manuscript.**

Doctor's thesis of engineering sciences by specialty 05.07.01 – Aerodynamics and gaseous dynamics of aircrafts. – National Aviation University, Kyiv, 2010.

The thesis deals with theoretical bases for development the aerodynamic configuration of promising high-speed transport vehicles on superconducting magnets. Theoretical grounds and new solutions of topical scientific problem including methodology for development of the aerodynamic configuration of promising transport vehicles on the base of coupled problems of dynamics, aerodynamics and electrodynamics of motion are presented in the thesis through replacing the original object by the mathematical model with the components of physical experiment to research it with the use of up-to-date numerical techniques.

The concept of designing the aerodynamic configuration is based on physical and mathematical simulation and the combined solution of the coupled problem of dynamics, aerodynamics and electrodynamics for transport vehicles on superconducting magnets.

Long-range ways of development of high-speed ground transport vehicles are considered.

The carried out analysis of development method of designing the aerodynamic configurations at traditional kinds of transport showed that the method of evolution is applied under the traditional kinds of ground transport. This approach is not acceptable in development of vehicles that work on new physical principles. A methodology for designing the aerodynamic configurations of such vehicles is required.

The analysis of models and methods of experimental and numerical aerodynamics is carried out. Within the frameworks of the coupled problem for dynamics of motion, aerodynamics and electrodynamics the approaches for mathematical simulation of aerodynamics are considered and the output equations are given.

For estimation of the influence of track structure on aerodynamic characteristics of promising transport vehicles there was carried out the complex of experiments of a number of aerodynamic configurations of promising high-speed transport vehicles in a wind-tunnel.

The boundary layer control technique for a track structure is explored. The aerodynamic characteristics of transport vehicles of wing and wingless forms are explored. The aerodynamic characteristics are given as functions of angle of attack and distance to the track structure.

To solve the problems of aerodynamics there is developed the complex approach, based on models and methods, having different level of complexity,

namely: the approximately-analytical method, singular integral equations, and Navier-Stokes equations averaged by Reynolds with the use of the curvilinear non-orthogonal coordinate system.

The closure of the Navier-Stokes equations averaged by Reynolds was carried with the use of one-parametric differential model of Spalart-Allmaras of turbulence in realization of separated vortices.

The theoretical analysis of aerodynamics and dynamics of motion of promising transport vehicles on superconducting magnets is carried out. The force acting on of vehicle is considered.

The approximately-analytical method of calculation of aerodynamic characteristics of transport vehicle and its parts near the track structure has been developed. The approximately-analytical method with a number aerodynamic configurations of wing and wingless forms has been tested.

The longitudinal and diametrical perturbed motion of transport vehicle on super conducting magnets is analyzed. Analytical correlations are proposed to ensure the conditions of stable motion taking into account the gravitational, aerodynamic and electromagnetic forces.

Methodology of forming the aerodynamic configurations of transport vehicles on superconducting magnets is developed. For decision of the problem of optimization of the aerodynamic configurations under the given load, cruising speed and length of the route there is offered to use like criteria functions the start mass and function of energetic outlays for transferring of the vehicle trajectory.

The mathematical model, methods, algorithms, software for solution the coupled problem of aerodynamics, electrodynamics and dynamics of motion of vehicles on superconducting magnets are developed.

The results of data calculation are given for a number of aerodynamic configurations for discrete and solid track structure.

The calculations were carried out under assumption both discrete and solid track structure.

There is proposed to use the aerodynamic configurations of transport vehicles on superconducting magnets with the mixed system of dynamic support: aerodynamics and electrodynamics supports and to provide the necessary of parameters of motion near truck structure and makes possible the proximity and rational application of aerodynamic effects validated with theoretical and numerical researches .

**Keywords:** mathematical simulation, aerodynamic configuration, aerodynamic characteristics, numerical simulation, dynamics of motion, method of discrete vorteces, Navier-Stokes equations.

**Сохацький Анатолій Валентинович**

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ  
КОМПОНУВАНЬ ПЕРСПЕКТИВНИХ ШВИДКІСНИХ  
ТРАНСПОРТНИХ АПАРАТІВ**

Спеціальність 05.07.01 – аеродинаміка та газодинаміка літальних апаратів

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Підписано до друку 25.05.2010.

Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.

Ум. друк. арк. 2,38.

Облік.-вид. арк. 00,00. Тираж 100 прим.

Замовлення №

Дніпропетровськ: Академія митної служби України (свідоцтво про видавничу діяльність ДК № 10 від 24.02.2000 р.).

49000, м. Дніпропетровськ, вул. Рогальова, 8.