

УДК 629.5

АНАЛІЗ СПОСОБІВ СТВОРЕННЯ ПІДЙОМНОЇ СИЛИ АПАРАТІВ НА ПОВІТРЯНІЙ ПОДУШЦІ

Гречуха М.І.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

У статті представлено системний аналіз способів створення підйомної сили у апаратів на повітряній подушці (АПП). Розглянуто базові фізичні принципи, класифіковано основні конструктивні методи формування подушки (нагнітачі, периферійні струмені, спідниці різного типу, гібридні схеми). Зроблено порівняльний аналіз їх ефективності, масогабаритних характеристик, керованості і практичної застосовності. Особлива увага приділена сучасним тенденціям: інтелектуальному керуванню тиском подушки, електрифікації приводів, новим матеріалам «спідниць» і гібридним концептам, що об'єднують подушку з аеродинамічним підйомом.

Актуальність. Універсальність АПП робить їх затребуваними в завданнях, де традиційні судна, автомобілі або гусеничні машини неефективні: рятувальні операції, прибережна служба, робота у важкодоступних районах, льодові і болотисті умови [1].

Тенденції до зниження енергоспоживання і екологічної дії вимагають перегляду класичних схем підйомної сили - зменшення витоків повітря, оптимізації конструкції спідниці, застосування нових матеріалів і електроприводів. Розвиток систем автоматизованого управління і цифрових технологій (наприклад, моделі керування тиском в подушці, активне керування «спідницею») створює передумови для підвищення стійкості, безпеки і ефективності АПП.

З точки зору інженерних рішень, оптимізація системи підйому - це зниження маси машини, збільшення корисного навантаження, підвищення швидкості і маневреності, зниження зносу спідниці і традиційних компонентів.

Таким чином, дослідження способів створення підйомної сили для АПП актуально як в академічному, так і в практичному інженерно-транспортному плані.

Вступ. Апарати на повітряній подушці є спеціалізованими машинами, які завдяки подушці з повітря здатні переміщатися над різноманітними поверхнями: водою, льодом, снігом, болотистою місцевістю, рихлим ґрунтом, іноді твердою поверхнею. Їх особливість - мінімальний контакт з поверхнею, що знижує опір і розширює міжсередовищні можливості [3].

Ключовим технічним елементом АПП є система створення і утримання повітряної подушки під корпусом - тобто формування підйомної сили, що забезпечує «винесення» ваги машини і зменшення навантаження на поверхню. У сучасних умовах, із зростанням вимог до універсальності, енергоефективності, екологічності і автоматизації, питання оптимального створення підйомної сили набуває нового значення.

Мета цієї статті провести усебічний аналіз існуючих і перспективних методів створення підйомної сили у АПП, виявити їх переваги і обмеження.

Теоретична база формування підйомної сили. Засадничий механізм підйому АВП - створення надмірного тиску повітря в порожнині під корпусом відносно навколишнього атмосферного тиску, що дозволяє «підняти» машину над поверхнею. Простіше кажучи: тиск в подушці помножений на площу підстави має бути не менше ваги машини. При цьому повітря повинне безперервно подаватися в подушку, а витoki (між «спідницею» і поверхнею, через щілини) - мінімізовані.

Також важливий ефект мінімізації тертя: за рахунок повітряної подушки знижується контакт машини з поверхнею, особливо водною або льодом, що дає перевагу перед традиційним судном або транспортом [2].

Для забезпечення стійкості і керованості важливі такі характеристики, як: жорсткість подушки (відповідь на вертикальні обурення), розподіл тиску, динаміка зміни подушки при скачках поверхні або русі. Наприклад, дослідження показувало, що при хвиловому навантаженні АВП дуже чутлива

до глибини спідниці і динаміки течії під нею [4].

Також враховується аеродинамічна/гідродинамічна складова: в режимі руху іноді частина підйому може забезпечуватися ефектом крила або екрану (наприклад, WIG-ефект), що ускладнює аналіз, але відкриває додаткові шляхи підвищення ефективності [5].

Основні способи створення підйомної сили у АВП.

1. Нагнітачі повітря: відцентрові і осьові вентилятори (Lift fans).

Одним з найпоширеніших рішень є застосування одного або декількох вентиляторів (фанів), які нагнітають повітря під корпус АВП.

Відцентрові вентилятори часто застосовуються, коли потрібно значний перепад тиску при помірній швидкості потоку.

Осьові вентилятори застосовуються, коли потрібно великий масовий потік повітря (об'єм) з меншим перепадом.

Переваги: перевірена технологія, простота інтеграції, допустима керованість. Недоліки: великий об'єм повітря, великі витрати, значна потужність двигуна.

Наприклад, в статті за проектом АПП описано, що потрібно постійне подання повітря, що перевищує витрати знизу, і вентилятор повинен створювати достатню швидкість потоку для утримання подушки [6].

2. Периферійні канали і «momentum curtain»(струмінь по периметру). Замість (чи на додаток к) простому поданню повітря під корпус, використовується схема, де по краю платформи АПП створюється струмінь повітря, що рухається вниз і всередину, що формує «завісу» повітря (momentum curtain), обмежуючий витік подушки. Така конструкція зменшує втрату повітря і дозволяє підтримувати тиск з меншими витратами. Це рішення особливо актуально при м'яких «спідницях» і при необхідності переходу через нерівності поверхні [3].

Переваги: зниження витрат, стабільніша подушка, економія потужності. Недоліки: ускладнення конструкції, необхідність точного управління потоком, можливе зниження висоти підвісу.

3. «Спідниця» (Skirt systems) - гнучкі і жорсткі конструкції.

«Спідниця» - ключовий елемент утримання повітряної подушки.

Основні типи:

- гнучкі спідниці: мешкові, пальчикові (finger), комбіновані;
- жорсткі конструкції (рідше) або суміш жорстких і гнучких елементів;
- матеріал і геометрія спідниці впливають на знос, витоки повітря, стійкість і висоту ходу.

Наприклад, дослідження показало, що зміна геометрії спідниці може сильно вплинути на жорсткість по вертикалі (heave stiffness) і, відповідно, на поведінкою машини в хвилях [4].

Переваги гнучких спідниць: адаптація до нерівностей, менша маса, менші удари. Недоліки: знос, витоки, менше допустима висота підвісу.

4. Комбіновані схеми (розділення підйому і тяги). У великих АПП часто використовуються незалежні системи: одна для формування подушки (нагнітач), інша - для тяги (пропульсія). Це дозволяє оптимізувати кожен систему під своє завдання. Крім того, комбінуються різні схеми підйому: наприклад, частина підйому через подушку, частину – аеродинамічний (WIG-ефект) при русі. Такі гібридні системи дають потенціал для підвищення швидкості і ефективності, але вимагають ускладненого управління і конструкції [7].

5. Гібридні і перспективні рішення (наприклад, WIG-ефект + повітряна подушка). У деяких проектах розвивається концепт, де використовується ефект екрану (wing - in - ground, WIG) разом з повітряною подушкою для посадки/таксування або для часткового підйому. Це суміжна область, але корисно розглядати, оскільки інновації в АПП часто йдуть саме у бік комбінування [5].

Переваги: можливість збільшення швидкості і корисного навантаження, ефективне використання аеродинаміки. Недоліки: висота підвісу мала, перехідні режими складні, вимагає складної конструкції.

Висновки. Створення підйомної сили у апаратів на повітряній подушці

є ключовим технічним елементом, що впливає на масу, потужність, ефективність, стійкість і застосовність машини. Різноманітність методів - від простих схем вентиляторів до складних струминних і гібридних конструкцій дозволяє адаптувати АПП під різні завдання. В умовах зростаючих вимог до енергоефективності, автоматизації і універсальності, інноваційні напрями - інтелектуальне керування, електрифікація, нові матеріали, гібридні концепції - є серйозним потенціалом зростання.

Для інженерів і дослідників важливо не лише знати класичні рішення, але і активно застосовувати сучасні методи оптимізації і керування, щоб проектувати машини нового покоління з високою продуктивністю, адаптивністю і екологічною відповідальністю.

Література:

1. Dickins D. F., "Arctic Patrol Hovercraft : An Initial Feasibility Study", ICETECH 2008. DOI: 10.5957/ЩЕТЕХ-2008-115.
2. Shakya, Kunal. "Fabrication & Analysis of Hovercraft." International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education, 2018.
3. Zhang, H.L. Ren, N. Liu, S. Li Research on the strength of air cushion vehicle. Author links open overlay panelH. International Congress (APCF/SIF-2014). 2014, Pages 178-182.
4. Amit Tiwari. To study and fabrication of air cushion vehicle. March 2015. International Journal of Research - Granthaalayah 3(3):70-84.
5. Tuan Le Dinh, Khoi Nguyen Nguyen Tran, Dung Tri Nguyen, Toan Huu Nguyen. Generality on air cushion vehicle design and applications. August 2009. Science and Technology Development Journal 12(14):12-20. DOI:10.32508/stdj.v12i14.2335.
6. Ranawat M. S., Rajpurohit M. S., Souda M., Joshi A., "Review Paper On Illustration Of Hovercraft", IJCRT, Vol.12, Issue 5, May 2024. Pp 724-730.
7. Dodda, Jhansi Reddy et al. "Various Developments in the Design of Hovercrafts: A Review." Conference paper. First Online: 03 April 2021. pp 519–528.