

УДК 621.865.8

Р.І. Михайлишин, канд. тех. наук, В.Б. Савків, канд. тех. наук, доц., С.В. Колонюк,
Р.П. Цапик

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СИЛ ЛОБОВОГО ОПОРУ НА СИЛУ ПРИТЯГАННЯ
ПРИ МАНІПУЛЮВАННЯ ГАБАРИТНИМИ ОБ'ЄКТАМИ****R.I. Mykhailyshyn, Ph.D., V.B. Savkiv, Ph.D., Assoc. Prof., S.V. Kolonyuk, R.P. Tsapyk
INVESTIGATION OF THE EFFECT OF RESISTANCE FORCES ON THE LIFTING
FORCE WHEN MANIPULATING DIMENSIONAL OBJECTS**

Зниження енергетичних затрат під час виконання вантажно-розвантажувальних операцій є актуальним завданням. Найчастіше мінімізація енергоспоживання транспортної системи зводиться до розв'язання завдань оптимізації траєкторії та методів транспортування. В [1] показано, що значна частина енергетичних затрат під час виконання вантажно-розвантажувальних операцій припадає на захватну систему промислового робота. Авторами статті було запропоновано метод оптимізації орієнтації захоплювача в процесі виконання транспортних операцій по прямолінійній або дуговій траєкторії [2,3]. Це дозволило мінімізувати енергетичні затрати захоплювального пристрою (ЗП) під час транспортування об'єкта маніпулювання (ОМ) [1].

Автори в статті [2,4] враховують вплив сил лобового опору середовища при обчисленні мінімальної необхідної сили утримування ОМ. Проте сила лобового опору суттєво залежить від швидкості руху ОМ та його габаритів.

Тому доцільно встановити закономірності впливу швидкості та габаритів ОМ на силу лобового опору повітря. Також необхідно встановити який вплив має сила лобового опору на мінімальну необхідну силу утримування ОМ у порівнянні із силами тяжіння та інерції. Для габаритних вантажів необхідно враховувати вплив сили лобового опору повітря. Ця сила зростає зі збільшенням швидкості транспортування об'єктів маніпулювання. Для прикладу на Рис. 1. зображена залежність сили лобового опору повітря від числа Рейнольдса для тіл сферичної форми.

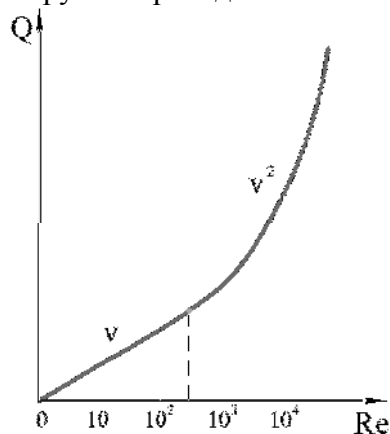


Рисунок 1. Залежність сили лобового опору від числа Рейнольдса

Число Рейнольдса прямо пропорційне швидкості транспортування об'єкта маніпулювання $Re = \rho v L / \mu$, де ρ – густина повітря; v – швидкість переміщення об'єкта маніпулювання; L – габаритний розмір ОМ, вимірний у площині перпендикулярній до вектора швидкості v ; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості повітря.

При малих швидкостях транспортування на об'єкт маніпулювання діють сили в'язкого тертя повітря до його поверхні. При таких швидкостях спостерігається ламінарне обтікання повітрям об'єкта маніпулювання. Сила лобового опору на даній ділянці прямо пропорційна швидкості руху ОМ і визначається за законом Стокса $Q = 6\pi\mu LV$.

При числах Рейнольдса $Re > 102$, симетрія обтікання об'єкта маніпулювання потоком повітря порушується, позаду об'єкта утворюються вихрі і потік стає турбулентним. Це відповідає $v > 0.1 \text{ m/s}$ та $L > 0.05 \text{ m}$. При цьому результуюча сила, що діє на ОМ буде пропорційна швидкісному напору $\rho v^2 / 2$ та площі S міделевого перерізу

$Q = k_{lo} \cdot S \cdot (\rho \cdot v^2 / 2)$, де k_{lo} - коефіцієнт лобового опору тіла, який залежить від форми поверхні об'єкта маніпулювання.

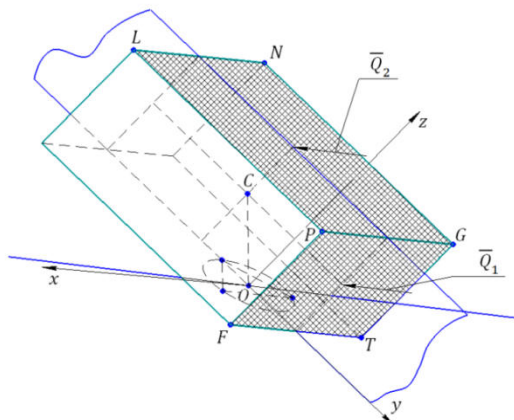


Рисунок 2. Площини об'єкта маніпулювання де діють сили лобового опору

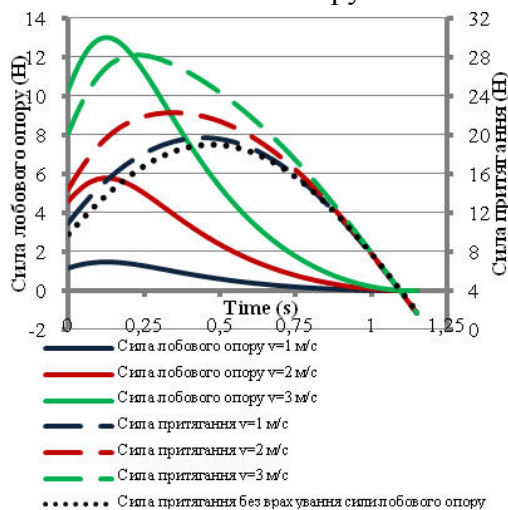


Рисунок 3. Графіки зміни сили лобового опору повітря та мінімальної необхідної сили притягання BGD на ділянці $T_{away}-T_1$

Для плоского та тонкого об'єкта маніпулювання силу лобового опору рівна $Q = \rho \cdot S \cdot v^2 (\pi \sin \alpha / 4 + \pi \sin \alpha)$, де α кут між напрямком руху об'єкта і нормаллю до плоскої поверхні OM (Рис. 2).

Для OM призматичної форми складові сил лобового опору визначаються за формулами:

$$Q_1 = \rho B H v^2 \frac{\pi \cos \alpha}{4 + \pi \cos \alpha}, \quad Q_2 = \rho A B v^2 \frac{\pi \sin \alpha}{4 + \pi \sin \alpha},$$

де Q_1 – сила лобового опору, що діє на площину $PGTF$, Q_2 – сила лобового опору, що діє на площину $LNGP$, A та B – довжина та ширина OM, α – кут між напрямком руху OM і нормаллю до площини захоплення.

Розглянемо транспортування OM по прямолінійній траєкторії із оптимізацією орієнтації захоплювального пристрою. Важливим є вплив сили лобового опору на ділянці $T_{away}-T_1$ на якій необхідно забезпечити найбільшу силу притягання протягом всього часу транспортування. На ній відбувається переорієнтація з заданої орієнтації (π) на оптимальну орієнтацію (0.625 рад) на наступній ділянці із одночасним підйомом (Рис. 3). З рисунку 4 очевидним є вплив сили лобового опору повітря на мінімальну силу притягання, зокрема під час зростання швидкості транспортування. При переорієнтації OM та його підйомом із швидкістю 3 м/с сила лобового опору повітря становить 47% від мінімальної необхідної сили притягання.

Встановлено, що вплив сил лобового опору у найбільшій мірі проявляється при транспортуванні габаритних OM малої маси. Отже, при визначенні сили ЗП, необхідно враховувати діючі на об'єкт маніпулювання сили лобового опору повітря.

Література

1. Energy efficiency analysis of the manipulation process by the industrial objects with the use of Bernoulli gripping devices / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon, M. Mikhalishin // Journal of Electrical Engineering. – 2017. – № 68 (6). – P. 496 – 502. – DOI: 10.1515/jee-2017-0087.
2. Orientation Modeling of Bernoulli Gripper Device with Off-Centered Masses of the Manipulating Object / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, O. Fendo, M. Mykhailyshyn // Procedia Engineering. – 2017. – №187, P. 264 – 271. – DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.374.
3. Modeling of Bernoulli gripping device orientation when manipulating objects along the arc / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon, M. Mikhalishin // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2018. – DOI: 1729881418762670.
4. Experimental Research of the Manipulation Process by the Objects Using Bernoulli Gripping Devices / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, M. Mikhalishin, F. Duchon // In Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering, International IEEE Conference. – Lviv, 2017. – P. 8 – 11.