

2. Abanda, V. (2021). Removal of iron from industrial ground water. Trends Journal of Sciences Research, 1-5. <https://doi.org/10.31586/wastewater101005>
3. World Health Organization. (2017). Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). WHO Press.
4. Karpenko, M., Radovenchyk, Y., & Ivanenko, O. (2023). Vydalennia spoluk zaliza iz mekhanichnykh filtriv pobutovykh zvorotn'oosmotychnykh system ochyshchennia [Removal of iron compounds from mechanical filters of domestic reverse osmosis purification systems]. Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia, 72(2), 127-132.
5. Trembus, I. V., Mykhailenko, N. V., & Hondovska, A. S. (2023). Membranes on modified cellulose fibers: A review. Scientific Notes of V. I. Vernadsky Taurida National University. Series: Technical Sciences, 34(73), 40-45.
6. Trembus, I. V., Mykhailenko, N. V., & Hondovska, A. S. (2024). Sposib otrymannia okysno-orhanosolventnoi tseliulozy [Method for producing oxidative-organosolv cellulose] (Ukrainian utility model No. 155049, registered January 10, 2024). State Register of Utility Models of Ukraine.
7. Derzhavnyi standart Ukrainy. (2003). DSTU ISO 6332:2003 Yakist' vody. Vyznachennia zaliza. Spektrometrychnyi metod iz vykorystanniam 1,10-fenantrolinu [Water quality — Determination of iron — Spectrometric method using 1,10-phenanthroline] (ISO 6332:1988, IDT).

DOI 10.70286/EOSS-03.11.2025.008

МАТЕМАТИЧНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ МІКРОКЛІМАТУ ДЛЯ КОСМІЧНОГО АПАРАТУ НА ПЕРЕДСТАРТОВИХ ОПЕРАЦІЯХ

Біляєв Миколай Миколайовіч

д. т. н., проф.

Кафедра «Гідравліка, водопостачання та фізика»

Український державний університет науки і технологій, Україна

Семененко Павло Володимирович

к. т. н., старший науковий співробітник

Державне підприємство «конструкторське бюро «Південне»

ім. М. К. Янгеля, Україна

Прогнозування певних умов у головному обтічнику ракети-носія для розміщення космічного апарату є сучасними актуальними вимогами. Ці умови безпечного перебування космічного апарату у повітряному об'ємі головного обтічника мають чіткі межі для створення мікроклімату [1–4]. Космічний апарат має наступні чутливі елементи: сонячні батареї, оптичні інструменти,

рефлектори передавачів сигналів та чутливі сенсорні елементи. Створений мікроклімат при тривалій вентиляції має забезпечувати:

- чистоту чутливих поверхонь космічного апарата. Включно, навіть окремих пилинок, якщо мова йде про невеликі поверхні сенсорів;
- температурний режим окремих поверхонь. Це стосується приборів, що виділяють тепло. Також тепло, яке може поступати від стінок головного обтічника;
- певну швидкість повітря навколо чутливих елементів космічного апарату. Зазвичай космічний апарат має складну геометричну форму;
- низьку вологість повітря. В деяких випадках річ йде про максимально чистий та сухий, який зберігається у балонах високого тиску.

В поняття мікроклімат входять і інші показники умов характеристик середовища, але вони не мають відношення до процесів тепломасопереносу.

Вітчизняні вчені В. І. Тимошенко, В. М. Сіренко та інші ще наприкінці другого тисячоліття досліджували питання безпечного перебування космічного апарату в об'ємі головного обтічника [5].

В цьому науковому матеріалі надається увага прогнозуванню рівня пилового забруднення супутника всередині головного обтічника під час його примусової вентиляції. Особливо важливим можна вважати визначення зон, де може бути небезпечне накопичення пилу.

Проведення експерименту, до інтеграції космічного апарату з ракето-носієм, як правило неможливе. Коли супутник вже встановлено це не дозволяє «втручання» в середину обтічника (внесення якісь додаткових детекторів, вимірювальної апаратури тощо). При використанні математичні моделі [6, 7] можливо знайти оціночні рішення цієї задачі. Тому, створення науково обґрунтованих математичних моделей для прогнозування пилового режиму всередині обтічника є важливою прикладною задачею.

Для прогнозування пилового режиму головного обтічника ракети-носія розроблена чисельна модель. Моделюючи рівняння:

- рівняння масопереносу пилу (враховує перенос пилу за рахунок конвекції, дифузії та гравітаційного осадження);
- рівняння для потенціалу швидкості (визначення поля швидкості повітряного потоку при обтіканні супутника в головному обтічнику);
- емпіричні залежності, що допомагають визначити інтенсивність осадження пилу на поверхню супутника.

Отримані результати чисельних експериментів, які були проведені з використанням розроблених чисельних моделей для двох сценаріїв. Обчислювальні експерименти проводилися для супутників всередині головного обтічника ракети-носія CYCLONE-IV. Розглянуто два випадки, коли супутник, розташований всередині обтічника, має складну геометричну форму. Розміри головного обтічника цієї ракети-носія становили 4,99м×4м (двовимірна модель). На верхній межі розрахункової області задавався рівномірний потік повітря зі

швидкістю 2м/с. Діаметр частинок пилу, які потрапляють в основний обтічник, становив 7мкм. Концентрація пилу в потоці повітря, який використовувався для примусової вентиляції, становила 2000 частинок/м³.

Результати чисельного експерименту показують, що геометрична форма супутника суттєво впливає на розподіл пилу всередині головного обтічника. Зона інтенсивного пилового забруднення, для обох сценаріїв, формується у верхній частині супутника, тобто біля отвору крізь який потрапляє повітря всередину обтічника. Це обумовлено різким гальмуванням повітряного потоку, коли він взаємодіє з супутником.

Науковою новизною можна вважати розроблену багатофакторну чисельну модель для аналізу пилового забруднення обтічника при примусовій його вентиляції на етапі термостатування. Модель дає можливість здійснювати рішення задачі газової динаміки та масопереносу в областях, що мають складну геометричну форму. Для чисельного інтегрування моделюючих рівнянь використані кінцево-різницевої схеми.

Розроблено швидкодіючу чисельну модель для прогнозування пилового забруднення головного обтічника ракети-носія під час його примусової вентиляції. Запропонована чисельна модель дозволяє врахувати основні фізичні фактори, які впливають на розподіл пилу в головному обтічнику під час примусової вентиляції. Розроблена комп'ютерна програма дозволяє проводити обчислювальні розрахунки за короткий час. Ця комп'ютерна програма може бути використана для первинної оцінки пилового режиму в головному обтічнику на етапі його примусової вентиляції.

Список використаних джерел

1. Francisco, J. T. Вентиляція відсіків - Критерії проектування космічних апаратів. NASA-SP-8060. 1970, 31 р. Доступно за посиланням: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19710018690>
2. Посібник користувача Falcon. Space Exploration Technologies Corp. Доступно за посиланням: <https://cutt.ly/WettMMly>
3. Кашанов, А.Е., Дегтярьов, А.В., Гладкий, Е.Г., Баранов, Є.Ю. Оцінка технічних ризиків при пуску ракети-носія "Дніпро", Авіаційно-космічна техніка і технологія 5 (92), 2012. – С. 113-117.
4. Посібник користувача ракети-носія Ariane 5. 2016. Доступно за посиланням: https://www.arianespace.com/wp-content/uploads/2011/07/Ariane5_Users-Manual_October2016.pdf.
5. Timoshenko, V. I, Agarkov, A. V, Moshnenko, Ju. I, Sirenko, V. N, Knyshenko, Ju. V, Ljashenko, Ju. G. (1999). Problemy termostatirovaniya i obespecheniya sohrannosti kosmicheskogo apparata v period predstartovoy podgotovki i pri vyvedenii na orbitu. Kosmichna nauka i tehnologija, 5, 5/6, 56-64.
6. Біляєв, М., Біляєва, В., Русакова, Т., Козачина, В.А., Берлов, О., Семененко, П., Козачина, В.В., Бразалук, І., Клим, В., Татарко, Л. Розробка методу оцінки

запиленості повітря в головному обтічнику ракети-носія, Східно-Європейський журнал передових технологій 5/1(119), 2022. – С. 17-25. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266013

7. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К. : Наук.думка, 1997. – 368 с.