

УДК 537.525

АНДРІЄНКО О. В., ЦИБУЛЬСКИЙ Л. Ю.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Україна

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОТІКАННЯ ГАЗУ ЧЕРЕЗ ПЕРФОРОВАНУ ТРУБКУ В КООКСІАЛЬНІЙ РОЗРЯДНІЙ СИСТЕМІ

**Мета:** Визначення впливу конструктивних параметрів газорозрядної системи на основі перфорованої трубки на розподіл тиску азоту між електродами, а також моделювання фізико-топологічних характеристик цієї системи для покращення її ефективності.

**Методика:** Моделювання газорозрядного процесу здійснено з використанням чисельних методів розрахунку тиску і швидкості газу в коаксіальній розрядній системі. Основою методики є рівняння Нав'є-Стокса для однофазного потоку азоту через перфоровану трубку, враховуючи різні режими протікання (ламінальний і турбулентний), а також варіації температури, в'язкості та густини газу. Число Рейнольдса застосовується для класифікації режимів потоку.

**Результати:** Моделювання показало, що розподіл газу в розрядній системі залежить від параметрів трубки і розташування отворів в аноді. Газ протікає нерівномірно через отвори, що спричиняє нерівномірність горіння розряду по осі системи. Для покращення рівномірності розподілу газу рекомендується застосовувати більш складні конструкції системи.

**Наукова новизна:** Вперше проведено моделювання газорозрядної системи з перфорованою трубкою з використанням фізико-топологічного підходу для дослідження впливу конструктивних параметрів на розподіл тиску газу, що дозволило виявити критичні аспекти, які впливають на рівномірність потоку і, відповідно, стабільність розряду.

**Практична значимість:** Отримані результати можуть бути використані для оптимізації конструкцій газорозрядних систем у промислових і наукових установках, зокрема для забезпечення стабільності і рівномірності розряду в коаксіальних системах. Це дозволить підвищити ефективність роботи таких установок.

**Ключові слова:** газорозрядна система; перфорована трубка; коаксіальна система; моделювання; розподіл тиску; азот; рівняння Нав'є-Стокса.

**Вступ.** Газорозрядні системи знаходять широке застосування в наукових дослідженнях і промислових технологіях, зокрема в галузях, що використовують вакуумно-плазмові процеси, таких як мікроелектроніка, медицина, а також в промислових установках для очищення газів та створення джерел світла [14]. Азотування поверхонь є одним із ключових процесів у сучасному матеріалознавстві, яке використовується для зміцнення поверхневих шарів металів і сплавів та їх захисту від корозії [1].

В умовах зростаючої потреби у високоміцних та довговічних матеріалах важливим завданням є підвищення ефективності процесу азотування, що дозволить покращити якість оброблених поверхонь, знизити витрати енергії та збільшити продуктивність [3, 12]. Основна проблема традиційних термохімічних методів обробки – утворення сполук хрому, що знижує стійкість до корозії [6]. Одним із перспективних підходів до оптимізації цього процесу є використання газорозрядних систем для азотування [11], де контроль за розподілом газу відіграє ключову роль [19]. Точне керування розподілом азоту в зоні обробки дозволяє підвищити ефективність дифузії атомів азоту в матеріал, що, у свою чергу, покращує якість азотованого шару.

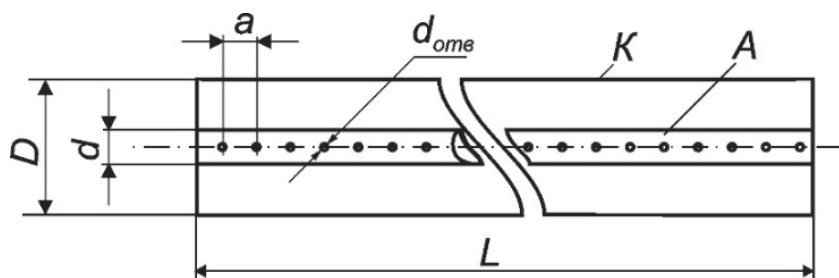
Дослідження конструктивних параметрів газорозрядної системи шляхом моделювання має низку переваг порівняно з експериментальними методами, зокрема завдяки можливості точного контролю та регулювання параметрів системи, зменшенню витрат і ризиків, а також підвищенню ефективності самого процесу дослідження [4].

Моделювання газорозрядних процесів вимагає рішення декількох пов'язаних задач з метою з'ясування розподілу ряду фізичних параметрів: тиску газу в розрядній системі, напруженості електричного та магнітних полів, іонів та електронів в міжелектродному просторі, струму на електродах, імплантованих атомів тощо. Формулювання кожної задачі включає математичну модель фізичного процесу, початкові та граничні умови. З огляду на чисельність задач та складність конструкції, можна стверджувати, що моделювання газорозрядних систем доволі складна задача. Початкові та граничні умови залежать від конструкції системи, типу та тиску газу, тому їх з'ясування є окремою науковою задачею на кожному кроці моделювання. Аналітично перелічені задачі вирішити не вдається, тому для встановлення розподілів та інтегральних параметрів газорозрядних систем застосовують чисельні методи доволі розвинені в сучасних прикладних пакетах комп'ютерних програм.

У зв'язку з цим дослідження конструктивних параметрів газорозрядної системи, які впливають на розподіл тиску азоту, є необхідним для оптимізації процесу азотування та забезпечення рівномірності й стабільності впливу азоту на поверхню [16]. Розробка та впровадження ефективних методів моделювання газорозподілу в розрядних системах дозволить значно підвищити ефективність азотування і відповідати вимогам сучасного промислового виробництва.

**Матеріали та методи.** У цьому дослідженні моделювання протікання азоту через перфоровану трубку в коаксіальній розрядній системі здійснювалося з метою визначення впливу конструктивних параметрів на розподіл тиску між електродами. Основою для проведення розрахунків слугували рівняння Нав'є-Стокса, які описують поведінку однофазного потоку азоту. Для врахування різних режимів протікання газу були розглянуті ламінарний та турбулентний режими, що дозволило забезпечити точність і детальність моделювання.

Моделювання здійснювалося за допомогою чисельних методів, використовуючи сучасні програмні комплекси, які забезпечують високоточні обчислення гідродинамічних параметрів. Для класифікації режимів потоку застосовувалося число Рейнольдса, яке враховувало залежність динамічної в'язкості та густини газу від температури і тиску. Геометричні параметри моделі зображено на рисунку 1, а значення параметрів наведено в таблицях нижче для прикладів результатів розрахунків.



Легенда:

A – перфорована трубка – анод; K – трубка – катод; L – довжина катоду; D – діаметр катоду; d – діаметр аноду; a – відстань між отворами в аноді; d<sub>отв</sub> – діаметр отворів в аноді.

Рис. 1. Конструкція та геометричні параметри дослідної моделі

У отвір анодної трубки подається газоподібний азот з загальним тиском  $10^2 \div 10^3$  Па. З другого боку анодна трубка закрита і весь газ через бокові отвори в аноді потрапляє в циліндричний простір між анодом та катодом, і далі дифундує в отвір на протилежному кінці катодної трубки.

Фундаментальною характеристикою аналізу потоку газу (рідини) є число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho UL}{\mu}, \quad (1)$$

де  $\rho$  – густина газу ( $\text{кг/м}^3$ );  $U$  – швидкість протікання газу,  $L$  – характеристичний розмір,  $\mu$  – динамічна в'язкість ( $\text{Па}\cdot\text{с}$ ), яка для ньютонівської рідини залежить від термодинамічного стану, але не від поля швидкості. Всі гази можна вважати ньютонівськими.

Число Рейнольдса відображає співвідношення між інерційними і в'язкими силами. При низьких числах Рейнольдса домінують в'язкі сили, які мають тенденцію гасити всі збурення, що призводить до ламінарного потоку. При високих числах Рейнольдса демпфірування в системі дуже низьке, що дає невеликим збуренням можливість рости за рахунок нелінійних взаємодій. Якщо число Рейнольдса досить високе, поле потоку в кінцевому підсумку опиняється в хаотичному стані, званому турбулентністю.

Відзначимо, що число Рейнольдса може мати різні значення в залежності від масштабу довжини і діапазону швидкостей. Щоб мати можливість порівняти два числа Рейнольдса, вони повинні базуватися на шкалах еквівалентної довжини і швидкості.

Густина азоту при нормальних умовах ( $101,325$  кПа) становить  $1250,6$   $\text{г/м}^3$ , а при тисках  $10^2 \div 10^3$  Па становить  $1,25 \div 12,51$   $\text{г/м}^3$  відповідно. Характеристичним розміром можна вважати різницю між радіусами катоду та аноду –  $L = 1$  см =  $0,01$  м. Швидкість протікання газу регулюється під час експериментів і може становити від часток до одиниць метрів за секунду. Динамічна в'язкість азоту при нормальних умовах (температурі  $0^\circ\text{C}$ ) становить  $0,00001665$   $\text{Па}\cdot\text{с}$ .

При моделюванні необхідно враховувати залежність параметрів азоту від температури та тиску. В таблиці 1 [8] наведені дані про густина та динамічну в'язкість азоту в залежності від температури при атмосферному тиску. Видно що ці параметри сильно залежать від температури.

Таблиця 1

**Залежність щільності та динамічної в'язкості азоту від температури**

Температура, T	Густина, $\rho$	Динамічна в'язкість, $\mu$
K	$\text{кг/м}^3$	$(\text{Па}\cdot\text{с}) \cdot 10^{-6}$
300	1,1233	17,78
400	0,8425	22,1
500	0,6739	25,9
600	0,5615	29,3
700	0,4812	32,25

При протіканні газового розряду температура газу може змінюватись, до того ж в різних областях розрядного середовищі можливі локальні відмінності параметрів від середніх значень.

З урахуванням наведених даних число Рейнольдса при протіканні азоту в системі електродів, яка наведена на рис. 1 при температурі  $300$  К складе:

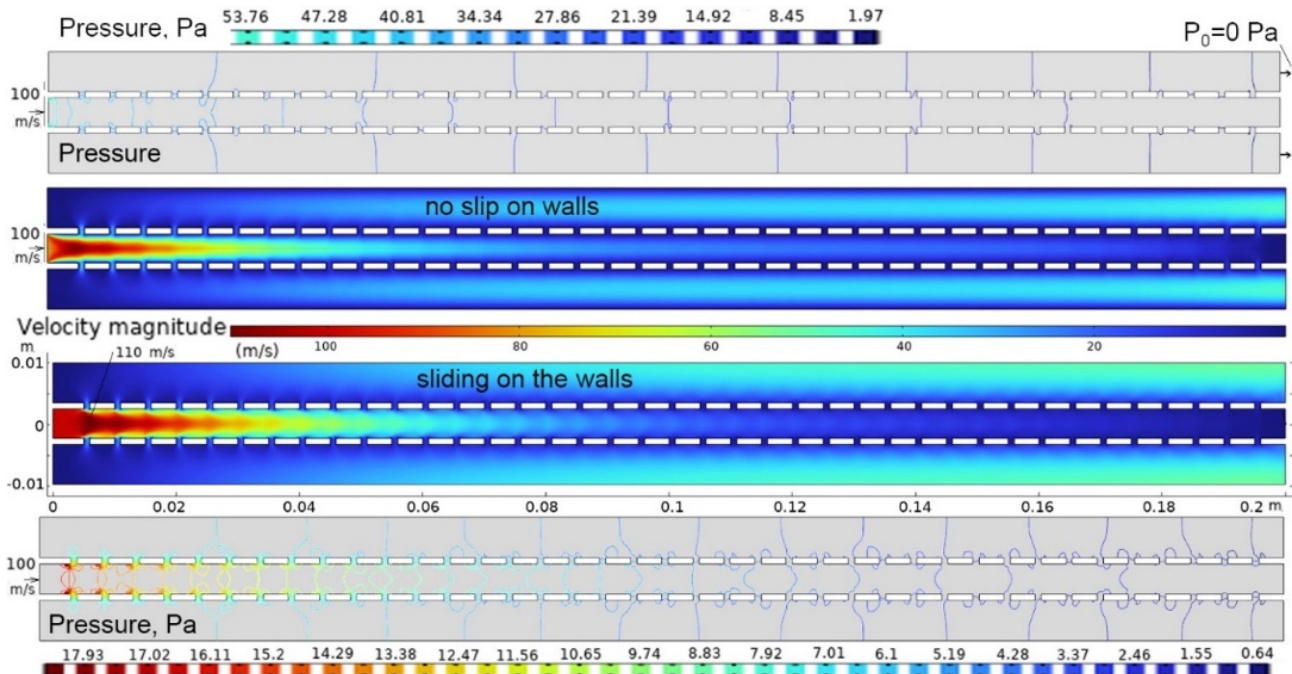
$$R_e = \frac{\rho UL}{\mu} = \frac{1.1233 \cdot 1 \cdot 0.01}{17.78 \cdot 10^{-6}}, \quad (2)$$

При температурі  $600$  К –  $R_e = 190$ . При таких значеннях числа Рейнольдса ( $R_e < 2000$ ) режим протікання азоту буде інерційним. Такий режим протікання також називають ламінарним.

**Результати та обговорення.** На рис. 2 зображено розподіл швидкості газу в дослідній моделі коаксіальної розрядної системи при різних режимах взаємодії газу з поверхнею стінок: без ковзання (no slip) та з ковзанням (sliding).

Розрахунок проведено для ламінарного режиму протікання азоту, довжина електродів  $20$  см, діаметр катоду  $20$  мм, діаметр аноду  $6$  мм (внутрішній діаметр  $4$  мм). Отвори в анодній

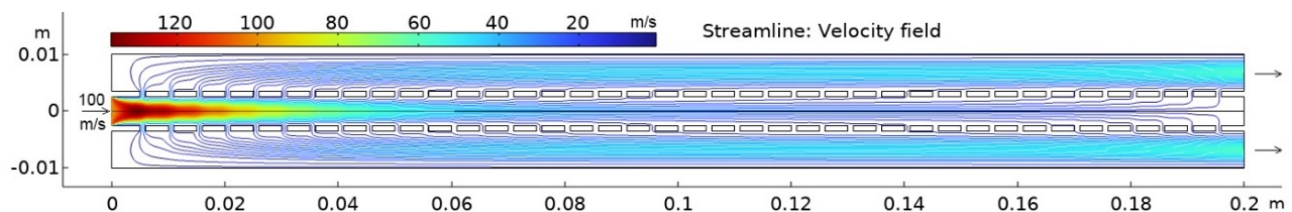
трубці діаметром 1 мм розташовані на відстані 1 см. Перепад тиску між входом та виходом нема  $P_0=0$  Па. Швидкість газу на вході становить 100 м/с.



**Рис. 2. Кольорові карти полів швидкості азоту та ізобари тиску в дослідній моделі коаксіальної розрядної системи при ковзанні (sliding) газу на поверхні стінок та без ковзання (no slip). Стрілками показано напрям газу на вході і виході**

Поля швидкості азоту на рис. 3 наочно демонструють вплив стану поверхонь стінок розрядної системи на режими протікання газу. В залежності від стану поверхні (шорсткість, чистота) і матеріалу електродів виникає режим протікання газу проміжний між двома наведеними крайніми режимами, який визначає розподіл щільності газу в електродній системі. Густина газу має лінійну залежність від тиску, розподіл якого представлено на рис. 2 у вигляді ізобар.

Додатковий вплив на параметри розряду також можуть мати траєкторії руху ліній газу. Приклад розрахунку траєкторій руху газу наведено на рис. 3.



**Рис. 3. Траєкторії та швидкість руху азоту в коаксіальній розрядній системі**

При циліндричному аноді газ не рівномірно проходить через отвори, що призводить до різного стану газу в різних частинах розрядної системи і, як наслідок, до різного режиму горіння розряду.

Нерівномірність проходження газу наочно представлена на рис. 4, де наведено збільшений фрагмент траєкторій протікання газу в розрядній системі з катодом діаметром 12 мм.

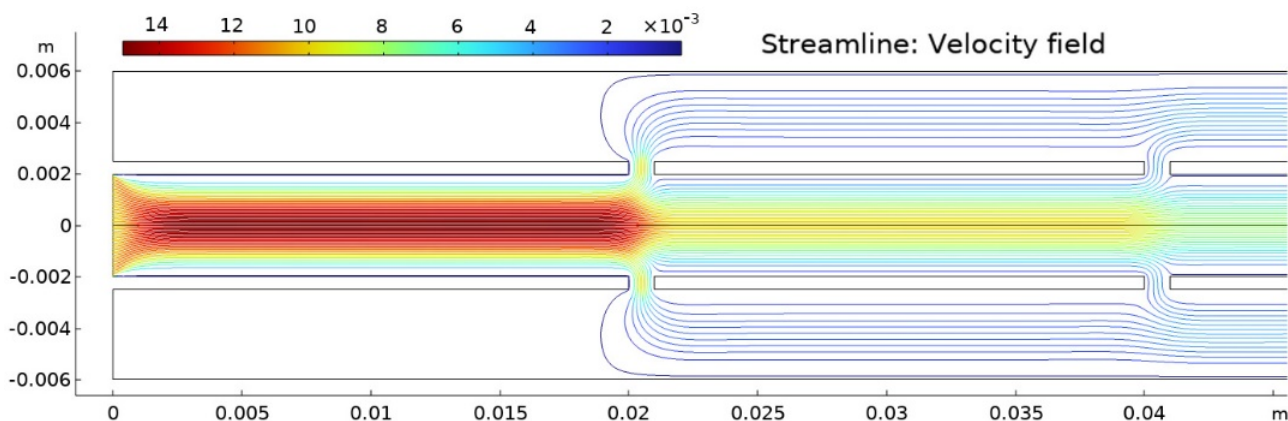


Рис. 4. Траєкторії та швидкість руху азоту в коаксіальній розрядній системі (збільшений фрагмент)

Густина ліній на рисунку корелює з кількістю газу, що проходить через отвори.

Для забезпечення рівномірності горіння розряду необхідно забезпечити рівномірні потоки газу через отвори. Для досягнення такого стану необхідно використовувати більш складну конструкцію розрядної системи.

**Висновки.** Проведені розрахунки показали, що розподіл тиску газу вздовж системи є нерівномірним, що пов'язано зі специфічною конструкцією трубки та розташуванням отворів в аноді. Така нерівномірність спричиняє нестабільність горіння розряду, що може негативно впливати на роботу системи.

Було виявлено, що для досягнення рівномірного потоку газу й стабільного горіння розряду важливо ретельно підбирати геометричні параметри системи, зокрема розмір і відстань між отворами в аноді, а також контролювати тиск і швидкість газу. При цьому за низьких значень числа Рейнольдса спостерігається ламінарний режим протікання азоту, що сприяє передбачуваним умовам роботи системи.

Моделювання з використанням чисельних методів довело свою ефективність у прогнозуванні поведінки газу в подібних системах. Результати дослідження можуть бути корисними для оптимізації конструкцій газорозрядних систем, що працюють в різних промислових і наукових середовищах. Для забезпечення стабільнішого та більш рівномірного розподілу газу пропонується використовувати складніші конструкції систем, що дозволить покращити їхню ефективність і надійність.

Для перспектив майбутніх досліджень можна зазначити, що подальше вдосконалення конструкцій газорозрядних систем із перфорованою трубкою має зосередитися на оптимізації розташування отворів та варіації геометричних параметрів для досягнення стабільнішого і рівномірного розподілу тиску. Це включає вивчення впливу матеріалу трубки та її діаметра на формування газового потоку та його взаємодію з електродами. Додатково, перспективним напрямом є дослідження ефектів різних газових сумішей та умов ковзання газу по стінках на стабільність розряду.

## References

1. Aghajani, H., Behrangi, S. (2017). Plasma Nitriding of Steels. Switzerland: Springer.
2. Aizawa, T., Wasa, K. (2017). Low temperature plasma nitriding of inner surfaces in stainless steel mini-/micro-pipes and nozzles. *Micromachines*, 8(5), 157. DOI: <https://doi.org/10.3390/mi8050157>.

## Література

1. Aghajani H., Behrangi S. Plasma Nitriding of Steels. Switzerland: Springer, 2017.
2. Aizawa T., Wasa K. Low temperature plasma nitriding of inner surfaces in stainless steel mini-/micro-pipes and nozzles. *Micromachines*. 2017. No. 8(5). Art. 157. DOI: <https://doi.org/10.3390/mi8050157>.

3. Bai, Z., Wu, X. (2024). Improving stress corrosion resistance and wear resistance of austenitic hot-stamping die steels via synergistic effects of shot peening and plasma nitriding. *Surf Coat Tech.*, 478: 130448. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.130448>.
4. Berladir, K., Hovorun, T., Ivanov, V., Vukelic, D., Pavlenko, I. (2023). Diffusion Nitride Coatings for Heat-Resistant Steels. *Materials*, 16(21): 6877. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16216877>.
5. Bogaerts, A., Gijbels, R. (2003). Numerical modeling of gas discharge plasmas for various applications. *Vacuum*, 69: 37–52.
6. Borgioli, F. (2022). The “Expanded” Phases in the Low-Temperature Treated Stainless Steels: A Review. *Metals*, 12(2): 331. DOI: <https://doi.org/10.3390/met12020331>.
7. Borgioli, F., Adachi, S., Lindner, T. (2024). Advances in Low-Temperature Nitriding and Carburizing of Stainless Steels and Metallic Materials: Formation and Properties. *Metals*, 14(10): 1179. DOI: <https://doi.org/10.3390/met14101179>.
8. Poling, B. E., Prausnitz, J. M., O’Connell, J. P. (2001). Properties of gases and liquids. The McGraw-Hill Companies, Inc. DOI: 10.1036/0070116822.
9. Coulson, J. M., Richardson, J. F. (2002). Particle Technology and Separation Processes. *Chemical Engineering*, Vol. 2. Butterworth-Heinemann.
10. Farayibi, P. K., Hankel, J., van gen Hassend, F., Blüm, M., Weber, S., Röttger, A. (2023). Tribological characteristics of sintered martensitic stainless steels by nano-scratch and nanoindentation tests. *Wear.*, 512–513: 204547. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.wear.2022.204547>.
11. Kuzmichev, A. I., Melnichenko, M. S., Shulaev, V. M. (2021). Secondary emission of atomic particles under bombardment of heavy d-metals by ions from nitrogen plasma. *Rus. Phys. Journ.*, 63(10): 1743–1749.
12. Phadke, P., Sturm, J. M., an de Kruijs, R. W., Bijkerk, F. (2020). Sputtering and nitridation of transition metal surfaces under low energy, steady state nitrogen ion bombardment. *Applied Surface Science*, 505: 144529. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144529>.
13. Panton, R. L. (1996). Incompressible Flow. John Wiley & Sons.
3. Bai Z., Wu X. Improving stress corrosion resistance and wear resistance of austenitic hot-stamping die steels via synergistic effects of shot peening and plasma nitriding. *Surf Coat Tech.* 2024. Vol. 478. Art. 130448. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.130448>.
4. Berladir K., Hovorun T., Ivanov V., Vukelic, D., Pavlenko I. Diffusion Nitride Coatings for Heat-Resistant Steels. *Materials*. 2023. Vol. 16, No. 21. Art. 6877. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16216877>.
5. Bogaerts A., Gijbels R. Numerical modeling of gas discharge plasmas for various applications. *Vacuum*. 2003. Vol. 69. P. 37–52.
6. Borgioli F. The “Expanded” Phases in the Low-Temperature Treated Stainless Steels: A Review. *Metals*. 2022. Vol. 12, No. 2. Art. 331. DOI: <https://doi.org/10.3390/met12020331>.
7. Borgioli F., Adachi S., Lindner T. Advances in Low-Temperature Nitriding and Carburizing of Stainless Steels and Metallic Materials: Formation and Properties. *Metals*. 2024. Vol. 14, No. 10. Art. 1179. DOI: <https://doi.org/10.3390/met14101179>.
8. Poling B. E., Prausnitz J. M., O’Connell J. P. Properties of gases and liquids. The McGraw-Hill Companies, Inc., 2001. DOI: 10.1036/0070116822.
9. Coulson J. M., Richardson J. F. Particle Technology and Separation Processes. *Chemical Engineering*, Vol. 2. Butterworth-Heinemann.
10. Farayibi P. K., Hankel J., van gen Hassend F., Blüm M., Weber S., Röttger A. Tribological characteristics of sintered martensitic stainless steels by nano-scratch and nanoindentation tests. *Wear*. 2023. Vol. 512–513. Art. 204547. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.wear.2022.204547>.
11. Kuzmichev A. I., Melnichenko M. S., Shulaev V. M. Secondary emission of atomic particles under bombardment of heavy d-metals by ions from nitrogen plasma. *Rus. Phys. Journ.* 2021. Vol. 63, No. 10. P. 1743–1749.
12. Phadke P., Sturm J. M., van de Kruijs R. W., Bijkerk F. Sputtering and nitridation of transition metal surfaces under low energy, steady state nitrogen ion bombardment. *Applied Surface Science*. 2020. Vol. 505. Art. 144529. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144529>.
13. Panton R. L. Incompressible Flow. John Wiley & Sons, 1996.

14. Raizer, Yu. P. (1991). Gas Discharge Physics. Berlin: Springer-Verlag.
15. Scheuer, C. J., Cardoso, R. P., Mafra, M., Brunatto, M. S. F. (2021) Effects of the voltage and pressure on the carburizing of martensitic stainless steel in pulsed DC glow discharge. *Mater Res.*, 24(6). DOI: <http://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2021-0154>.
16. Scheuer, C. J., Silva, L. J., Neves, J. C. K., Cardoso, R. P., Brunatto, S. F. (2024). Tribological performance of low-temperature plasma carburized AISI 420 martensitic stainless steel. *Surf Coat Tech.*, 476: 130239. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2023.130239>.
17. Schibicheski, K., Bruna, C. E., Lepienski, C. M., de Oliveira, W. R., de Souza, G. B., Serbena, F.C., Cardoso, R. P., das Neves, J. C. K., Borges, P. C. (2023). Identification of Expanded Austenite in Nitrogen-Implanted Ferritic Steel through In Situ Synchrotron X-ray Diffraction Analyses. *Metals.*, 13(10): 1744. DOI: <https://doi.org/10.3390/met13101744>.
18. Sharma, M. K., Saikia, B. K., Phukan, A., Ganguli, B. (2006). Plasma nitriding of austenitic stainless steel in N<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> dc pulsed discharge. *Surf Coat Tech.*, 201 (6): 2407–2413. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.04.006>.
19. Sun, J., Li, J., Xie, J. M., Yang, Y., Wu, W. P., Zhou, X. et al. (2022). Properties of rapid arc discharge plasma nitriding of AISI 420 martensitic stainless: effect of nitriding temperatures. *J Mater Res Technol.*, 19: 4804–4814. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.07.028>.
14. Raizer Yu. P. Gas Discharge Physics. Berlin: Springer-Verlag, 1991.
15. Scheuer C. J., Cardoso R. P., Mafra M., Brunatto M. S. F. Effects of the voltage and pressure on the carburizing of martensitic stainless steel in pulsed DC glow discharge. *Mater Res.* 2021. No. 24(6). DOI: <http://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2021-0154>.
16. Scheuer C. J., Silva L. J., Neves J. C. K., Cardoso R. P., Brunatto S. F. Tribological performance of low-temperature plasma carburized AISI 420 martensitic stainless steel. *Surf Coat Tech.* 2024. Vol. 476. Art. 130239. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2023.130239>.
17. Schibicheski K., Bruna C. E., Lepienski C. M., de Oliveira W. R., de Souza G. B., Serbena F.C., Cardoso R. P., das Neves J. C. K., Borges P. C. Identification of Expanded Austenite in Nitrogen-Implanted Ferritic Steel through In Situ Synchrotron X-ray Diffraction Analyses. *Metals.* 2023. Vol. 13, No. 10. Art. 1744. DOI: <https://doi.org/10.3390/met13101744>.
18. Sharma M. K., Saikia B. K., Phukan A., Ganguli B. Plasma nitriding of austenitic stainless steel in N<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> dc pulsed discharge. *Surf Coat Tech.* 2006. No. 201(6). P. 2407–2413. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.04.006>.
19. Sun J., Li J., Xie J. M., Yang Y., Wu W. P., Zhou X. et al. Properties of rapid arc discharge plasma nitriding of AISI 420 martensitic stainless: effect of nitriding temperatures. *J Mater Res Technol.* 2022. No. 19. P. 4804–4814. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.07.028>.

**ANDRIIENKO OLHA**

Post graduate student,

Department of Electronic Devices and Systems,  
National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-9930-4415>  
E-mail: [aov1911190-eds-21@iit.kpi.ua](mailto:aov1911190-eds-21@iit.kpi.ua)

**TSYBULSKYI LEONID**

PhD, Assoc. Prof.,

Department of Electronic Devices and Systems,  
National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-7431-6417>  
E-mail: [senti-ki@ukr.net](mailto:senti-ki@ukr.net)

**ANDRIIENKO O. V., TSYBULSKYI L. Yu.**

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine*

**SIMULATION OF GAS FLOW THROUGH A PERFORATED PIPE  
IN A COAXIAL DISCHARGE SYSTEM**

**Purpose.** To determine the impact of design parameters of a gas discharge system based on a perforated tube on the nitrogen pressure distribution between the electrodes and to model the physical and topological characteristics of this system to enhance its efficiency.

**Methodology.** The modeling of the gas discharge process was performed using numerical methods to calculate the pressure and gas velocity in a coaxial discharge system. The methodology is based on the Navier-Stokes equations for a single-phase nitrogen flow through a perforated tube, accounting for different flow regimes (laminar and turbulent) as well as variations in gas temperature, viscosity, and density. The Reynolds number is applied to classify the flow regimes.

**Findings.** Modeling indicated that the gas distribution in the discharge system depends on the tube parameters and the location of the holes in the anode. The gas flows unevenly through the holes, leading to non-uniform discharge burning along the system axis. To improve the uniformity of gas distribution, the use of more complex system designs is recommended.

**Originality.** For the first time, the modeling of a gas discharge system with a perforated tube was conducted using a physical-topological approach to study the influence of design parameters on gas pressure distribution. This allowed for the identification of critical factors affecting the uniformity of flow and, consequently, discharge stability.

**Practical value:** The obtained results can be utilized to optimize the design of gas discharge systems in industrial and scientific installations, particularly to ensure discharge stability and uniformity in coaxial systems, thereby enhancing the operational efficiency of such installations.

**Keywords:** gas discharge system; perforated tube; coaxial system; modeling; pressure distribution; nitrogen; Navier-Stokes equations.