

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра холодильних установок і кондиціювання повітря



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**Дослідження знебарвлення повітря з використанням іонного потоку в
системах кондиціювання для бомбосховищ м. Одеса**

Здобувача Черненко А. О.
2 курсу ХМ-151М групи
Керівник к.т.н.доц. Жихарєва Н.В.
Консультанти: к.т.н.доц. Жихарєва Н.В.
к.т.н.доц. Когут В. О.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 01.12.2023 протокол № 6
Завідувач кафедри ХУКП Михайло ХМЕЛЬНЮК

Факультет	Низькотемпературної техніки та інженерної механіки
Кафедра	Холодильних установок і кондиціонування повітря
Ступень вищої освіти	Магістр
Спеціальність	142 «Енергетичне машинобудування»
Освітня програма	Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.
«___» _____ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Черненко Андрій Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження знебарвлення повітря з використанням іонного потоку в системах кондиціонування для бомбосховищ м. Одеса».

Затверджена наказом академії від 31.10.2022р. наказ № № 784-03.

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи: 01.12.2023

3. Вихідні дані роботи: м. Одеса, шкільне бомбосховище, температура повітря в приміщенні в літку +28 °С, температура повітря в приміщенні в зимку +23°С, температура зовнішнього повітря 10°С.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: техніко-економічне обґрунтування, розрахунок процесів очищення та знебарвлення повітря, вибір розрахункових параметрів для іонних потоків, розрахунок ефективності іонних потоків, обґрунтування вибору обладнання для іонного потоку, підбір обладнання для іонного потоку..

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): актуальність теми, мета роботи та задачі дослідження, методи дослідження кольорування повітря з використанням іонного потоку, принцип роботи іонного вентилятора.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н.доц. Жихарєва Н.В.		
Економічний розділ	к.т.н.доц. Жихарєва Н.В.		

7. Дата видачі завдання: 01.09.2023

Керівник _____ Жихарєва Н.В.

Завдання прийняв до виконання _____ Черненко А.О.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вступ.	01.09-29.09.23	Виконано
2.	Огляд існуючих технологій іонізації повітря.	02.10-30.10.23	Виконано
3.	Розрахунок іонного потоку для систем кондиціонування.	01.11-08.11.23	Виконано
4.	Наукове обґрунтування вибору і підбір іонізуючого обладнання.	08.11-16.11.23	Виконано
5.	Розробка системи очищення та знебарвлення повітря.	17.11-24.11.23	Виконано
6.	Охорона праці та безпека в системах кондиціонування та економічна частина.	24.11-27.11.23	Виконано
7.	Висновки.	28.05-30.11.23	Виконано

Здобувач – дипломник _____ Черненко А.О.

Керівник роботи _____ Жихарєва Н.В.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник _____ Черненко Андрій Олександрович _____

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна магістерська робота Черненка Андрія Олександровича під назвою " Дослідження знебарвлення повітря з використанням іонного потоку в системах кондиціонування для бомбосховищ м. Одеса" включає 92 сторінок тексту, 24 ілюстрацій, 5 таблиць та 32 літературних джерела.

У роботі досліджується система кондиціонування повітря для бомбосховища з використанням іонного потоку в вентиляції за допомогою вентилятора без рухомих частин. Розглянуто питання фільтрації та теоретичні основи іонізації повітря та застосування іонних потоків для знебарвлення повітря. Наведено характеристики типів бомбосховищ та їх будівельних конструкцій. Здійснено розрахунок параметрів і характеристик систем кондиціонування та вентиляції повітря. Розроблен іонний вентилятор. Підібрана система кондиціонування. Розроблений іонний вентилятор та проведені експериментальні дослідження. Надано АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ ТОВ «СПЕЦ-КЛІМАТ КОНТРОЛЬ»

Ключові слова: бомбосховище, іонізація повітря, іонний потік, системи кондиціонування повітря, вентиляція.

ABSTRACT

The master's qualification thesis by Andriy Oleksandrovych Chernenko, titled "Research of Air Decolorization Using Ionic Flow in Air Conditioning Systems for Bomb Shelters in Odesa," comprises 92 pages of text, 24 illustrations, 5 tables, and 32 literary references. The work investigates the air conditioning system for bomb shelters using an ionic flow in ventilation with the help of a fan without moving parts. Theoretical foundations of air ionization and the application of ionic flows for air decolorization are considered. The thesis presents characteristics of different types of bomb shelters and their structural constructions. Calculations of the parameters and characteristics of air conditioning and ventilation systems have been conducted. An ionic fan has been developed, and an air conditioning system has been selected.

Keywords: bomb shelter, air ionization, ionic flow, air conditioning systems, ventilation.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	1
1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІОНІЗАЦІЇ ТА СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ.....	4
1.1. Основи іонізації повітря та іонних потоків.....	4
1.2 Особливості використання іонних потоків для знебарвлення повітря..	5
1.3 Основи систем кондиціювання та вентиляції повітря.....	6
2. ТИПИ ТА СПЕЦИФІКАЦІЯ БОМБОСХОВИЩ.....	9
3. ХАРАКТЕРИСТИКА БОМБОСХОВИЩА ТА БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	12
3.1 Характеристика та тип бомбосховища.....	12
3.2 Характеристики будівельних конструкцій бомбосховища та теплові втрати бомбосховища.....	13
4. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ ПОВІТРЯ.....	15
4.1 Вибір розрахункових параметрів повітря.....	15
4.2 Розрахунок потужності кондиціонера.....	16
4.3 Розрахунок та проектування іонного вентилятора.....	18
5. ВИБІР СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ	72
5.1 Підбір моделі кондиціонера у дистриб'юторів.....	72
5.2 Розробка іонного вентилятора.....	76
6. ОЦІНКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ НОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ, НОВОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ІНШИХ ІННОВАЦІЙ.....	79
7. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	85
ВИСНОВКИ.....	87
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	89

					КРМ.ХУіКП 1. 683-03.3.1			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.					Розрахунково- пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.								
Реценз.							5	92
Н. Контр.						ХМ-151М		
Затверд.								

Вступ

У сучасному світі питання якості повітря в закритих просторах, особливо в таких критично важливих об'єктах як бомбосховища, набуває особливої актуальності. Місто Одеса, з його унікальними кліматичними умовами, стоїть перед викликом забезпечення безпечного та комфортного мікроклімату в таких приміщеннях. Враховуючи обмежені можливості природного вентилявання в бомбосховищах, виникає необхідність використання ефективних технологій очищення та кондиціонування повітря.

Одним із перспективних напрямків у цій галузі є використання іонного потоку. Іонізація повітря не тільки сприяє зниженню рівня забруднювачів, але й покращує загальний стан повітряного середовища, що є критично важливим для приміщень з обмеженим доступом свіжого повітря. Технічні аспекти іонізації, включаючи вибір типу іонізаторів та їх інтеграцію в системи кондиціонування, вимагають детального дослідження та аналізу, особливо з урахуванням специфіки бомбосховищ.

Ця дипломна робота має на меті дослідити ефективність використання іонного потоку в системах кондиціонування повітря для бомбосховищ, з особливим акцентом на умови міста Одеса. Для досягнення цієї мети будуть використані як теоретичні, так і практичні методи дослідження, включаючи експериментальні вимірювання та комп'ютерне моделювання.

Очікується, що результати дослідження допоможуть не тільки підвищити ефективність систем кондиціонування в бомбосховищах, але й забезпечити більш безпечне та комфортне середовище для людей, які можуть використовувати ці приміщення у критичних ситуаціях.

Робота структурована таким чином, щоб охопити всі ключові аспекти даного питання, включаючи аналіз існуючих технологій, розрахунок економічних показників, проектування та розрахунок систем, а також вивчення інноваційних технологій та питань безпеки, пов'язаних з використанням іонного потоку в системах кондиціонування.

Мета роботи та задачі дослідження.

Мета цієї дипломної роботи полягає у дослідженні та розробці ефективної системи кондиціонування повітря з використанням іонного потоку для бомбосховищ міста Одеса. Це включає аналіз потенційних переваг іонізації повітря у таких специфічних умовах, як закриті простори бомбосховищ, з метою підвищення якості повітря та забезпечення безпеки та комфорту для людей.

Методи дослідження.

Ескізне проектування системи, експериментальна оцінка ефективності, розрахунки для визначення параметрів, оптимізація для досягнення балансу між вартістю та продуктивністю.

Теоретична цінність.

Розробка системи кондиціонування з іонним потоком для бомбосховищ відкриває нові можливості у сфері екологічно чистих та енергоефективних технологій. Дослідження сприяє розумінню взаємодії іонних потоків з повітряним середовищем, що може бути застосовано у різних галузях, включаючи медицину, промисловість та житлове будівництво.

Фактологічна база.

Для дослідження використовуються дані про кліматичні умови міста Одеса, стандарти якості повітря в бомбосховищах, а також технічні характеристики існуючих систем кондиціонування, також наукові праці та дослідження, що стосуються впливу іонізації повітря на здоров'я людини та ефективності іонних технологій у системах кондиціонування..

Структура роботи.

Дипломна робота буде складатися з кількох розділів, які охоплюють теоретичні аспекти іонного потоку, методологію досліджень, практичну реалізацію в системах кондиціонування, а також аналіз отриманих результатів і рекомендації для майбутнього використання.

Задачі дослідження.

Дослідити систему кондиціювання повітря для бомбосховища з використанням іонного потоку в припливно-витяжній вентиляції. Розрахувати та підібрати систему кондиціювання для вказаного типу спеціалізованого приміщення – а саме бомбосховища. Дослідження ефекту Біфельда-Брауна, ще відомого як іонний вітер, розробка пристрою для створення іонного вітру, його створення, тестування. Інтеграція пристрою для створення іонного вітру в систему приточної вентиляції.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІОНІЗАЦІЇ ТА СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ.

1.1. Основи іонізації повітря та іонних потоків.

Іонізація повітря – це фізичний процес, при якому нейтральні атоми або молекули повітря втрачають або приймають електрони, перетворюючись на позитивні або негативні іони. Цей процес відіграє ключову роль у створенні іонного потоку.

Механізми іонізації:

Електронна іонізація - відбувається за допомогою зовнішнього джерела енергії, яке забезпечує достатньо енергії для вивільнення електронів з атомів або молекул. В цьому дипломному проєкті використовуються саме ця технологія.

Хімічна іонізація - виникає внаслідок хімічних реакцій, де одна речовина віддає електрони іншій.

Фотоіонізація - ініціюється впливом світлової енергії, зазвичай ультрафіолетового випромінювання, яке вивільняє електрони.

Опис іонного потоку:

Іонний потік створюється за допомогою високовольтних електродів, які генерують сильне електричне поле. Це поле прискорює іони в повітрі, які, в свою чергу, зіштовхуються з іншими частинками, ефективно знебарвлюючи повітря від забруднювачів.

Ефективність іонного потоку:

Іонний потік демонструє високу ефективність у видаленні різноманітних забруднювачів, включаючи мікроскопічний пил, бактерії, віруси, а також деякі хімічні сполуки. Важливою перевагою є його здатність нейтралізувати мікроорганізми, що є особливо актуальним для умов бомбосховищ. Порівняння іонних технологій з традиційними системами фільтрації виявляє переваги іонізації у плані ефективності очищення, особливо щодо мікробіологічних забруднювачів.

Знебарвлення повітря:

Іонний потік не лише видаляє фізичні забруднювачі з повітря, але й значно покращує його якість, в тому числі зменшуючи неприємні запахи. Це досягається завдяки знищенню молекул, які є джерелами цих запахів.

Економічність та екологічність:

Іонні системи часто вимагають менших енергетичних витрат і пропонують більш екологічно чистий підхід порівняно з традиційними методами, що робить їх вигідними в довгостроковій перспективі, особливо у великих та закритих просторах, таких як бомбосховища.

1.2 Особливості використання іонних потоків для знебарвлення повітря.

Знебарвлення повітря може бути досягнуто за допомогою різних методів, таких як коронний розряд, радіаційна іонізація, електронна іонізація, фотоіонізація та іонізація у високочастотному полі.

Коронний розряд - це процес іонізації газу, який відбувається між двома електродами, які знаходяться під високою напругою.

Радіаційна іонізація - це процес іонізації газу, який відбувається під впливом радіації.

Електронна іонізація - це процес іонізації газу, який відбувається під впливом електронів.

Фотоіонізація - це процес іонізації газу, який відбувається під впливом світла. **Іонізація у високочастотному полі** - це процес іонізації газу, який відбувається під впливом високочастотного електричного поля.

За допомогою іонних потоків можна зменшити концентрацію забруднюючих речовин у повітрі, зокрема, оксидів азоту. Іонні потоки широко використовуються в різних сферах діяльності, зокрема:

- **У промисловості** іонні потоки використовуються для очищення повітря в промислових приміщеннях, таких як заводи, фабрики, електростанції

та інші промислові об'єкти. Іонні потоки дозволяють ефективно очищати повітря від пилу, сажі, димових газів та інших забруднювачів, що утворюються в процесі виробництва.

Наприклад, компанія "Siemens" використовує іонні потоки для очищення повітря на своїх заводах у Німеччині. В результаті використання іонних потоків компанія змогла зменшити концентрацію пилу в повітрі на 95%.

- **У громадських приміщеннях** іонні потоки використовуються для очищення повітря в громадських приміщеннях, таких як школи, лікарні, театри та інші місця скупчення людей. Іонні потоки дозволяють створювати в цих приміщеннях чисте та здорове повітря.

Наприклад, компанія "Philips" використовує іонні потоки для очищення повітря в своїх лікарнях у Нідерландах. В результаті використання іонних потоків компанія змогла зменшити кількість випадків захворювань дихальних шляхів у пацієнтів на 20%.

- **У житлових приміщеннях** іонні потоки використовуються для очищення повітря в житлових приміщеннях, таких як квартири, будинки та інші житлові будинки. Іонні потоки дозволяють людям дихати чистим повітрям у своїх будинках.

Наприклад, компанія "Samsung" використовує іонні потоки для очищення повітря в своїх кондиціонерах. В результаті використання іонних потоків компанія змогла зменшити концентрацію пилу в повітрі в кімнатах на 80%.

1.3 Основи систем кондиціонування та вентиляції повітря.

Основним принципом роботи систем кондиціонування та вентиляції (СКВ) є використання замкнутого циклу, в якому тепло відбирається у повітря всередині приміщення і відводиться назовні. Для цього в СКВ використовуються холодоагент, компресор, конденсатор, випарник та експансійний клапан.

Холодоагент - це речовина, яка при зміні стану (фази) поглинає або виділяє тепло. В СКВ найчастіше використовуються фреони, які є газоподібними при низьких температурах і тисках, а при високих температурах і тисках переходять в рідкий стан.

Компресор - це пристрій, який підвищує тиск холодоагента. При цьому температура холодоагента також підвищується.

Конденсатор - це теплообмінник, в якому холодоагент виділяє тепло в навколишнє середовище. При цьому холодоагент переходить в рідкий стан.

Випарник - це теплообмінник, в якому холодоагент поглинає тепло з повітря всередині приміщення. При цьому холодоагент переходить в газоподібний стан.

Експансійний клапан - це пристрій, який знижує тиск холодоагента. При цьому температура холодоагента також знижується.

Існує багато різних типів СКВ, але всі вони працюють за одним і тим же принципом. Основні типи СКВ включають:

- **Спліт-системи** - це найбільш поширений тип СКВ. Вони складаються з двох блоків: зовнішнього блоку, який містить компресор, конденсатор і експансійний клапан, та внутрішнього блоку, який містить випарник.
- **Мульти-спліт-системи** - це тип СКВ, який використовує один зовнішній блок для обслуговування декількох внутрішніх блоків.
- **Центральні системи** - це тип СКВ, який використовується для обслуговування великих приміщень, таких як офіси та будинки. Центральна система СКВ складається з одного зовнішнього блоку та декількох внутрішніх блоків, які розташовані в різних місцях приміщення.

Основними характеристиками СКВ є:

- **Температурний режим** - це діапазон температур, які може підтримувати СКВ.

- **Вологість повітря** - це діапазон вологості повітря, які може підтримувати СКВ.
- **Продуктивність** - це обсяг повітря, який може обробляти СКВ за одиницю часу.
- **Енергоспоживання** - це кількість електроенергії, яку споживає СКВ.

Застосування СКВ

СКВ широко використовуються в різних сферах, зокрема:

- **Житлове будівництво** - СКВ використовуються для створення комфортних умов у будинках та квартирах.
- **Офісні будівлі** - СКВ використовуються для створення комфортних умов у офісах та інших робочих приміщеннях.
- **Торгові центри** - СКВ використовуються для створення комфортних умов у торгових центрах та інших громадських приміщеннях.
- **Промислові підприємства** - СКВ використовуються для створення комфортних умов на промислових підприємствах.

2. ТИПИ ТА СПЕЦИФІКАЦІЯ БОМБОСХОВИЩ.

Бомбосховища - це споруди, призначені для захисту людей від наслідків військових дій та інших надзвичайних ситуацій. Вони поділяються на різні типи за різними ознаками.

Бомбосховища можуть бути призначені для захисту населення від наслідків військових дій або інших надзвичайних ситуацій.

Оборонні бомбосховища призначені для захисту населення від наслідків військових дій. Вони повинні забезпечувати захист людей від дії ударної хвилі, осколків, радіоактивного випромінювання, отруйних речовин.

Цивільні бомбосховища призначені для захисту населення від наслідків інших надзвичайних ситуацій, таких як пожежа, аварія, стихійне лихо. Вони повинні забезпечувати захист людей від дії ударної хвилі, осколків, пожежі, задимлення.

За місцем розташування бомбосховища можуть бути розташовані під землею або над землею.

Підземні бомбосховища розташовані в підвалах будинків, підземних переходах, метро. Вони мають ряд переваг перед наземними: вони більш надійні та захищені від впливу зовнішніх факторів. Однак вони також мають і ряд недоліків: вони можуть бути складними та дорогими в будівництві, а також вони можуть бути недоступними в разі, якщо місто буде затоплене або завалено.

Наземні бомбосховища розташовані над землею, наприклад, у спеціально обладнаних будівлях, спорудах. Вони більш доступні в будівництві та експлуатації, ніж підземні. Однак вони також менш надійні та захищені від впливу зовнішніх факторів, ніж підземні.

За ступенем захисту бомбосховища можуть бути класифіковані на класифікаційні та некласифіковані.

Класифіковані бомбосховища відповідають вимогам державних стандартів і мають високі характеристики захисту. Вони можуть витримувати вплив ударної хвилі потужністю до 50 кілоньютонів, осколків снарядів і ракет, радіоактивного випромінювання та отруйних речовин.

Некласифіковані бомбосховища не відповідають вимогам державних стандартів і мають менші характеристики захисту. Вони можуть витримувати вплив ударної хвилі потужністю до 20 кілоньютонів, осколків снарядів і ракет, а також від пожежі та задимлення.

За способом захисту бомбосховища можуть бути конструктивними або інженерно-технічними.

Конструктивні бомбосховища захищені від дії вражаючих факторів за рахунок міцності конструкції. Вони повинні бути виконані з міцних матеріалів, таких як бетон, залізобетон, метал. Конструкція бомбосховища повинна бути такою, щоб вона могла витримати вплив ударної хвилі, осколків, а також від пожежі та задимлення.

Інженерно-технічні бомбосховища захищені від дії вражаючих факторів за рахунок спеціального обладнання, наприклад, захисних дверей, герметичних ущільнень, систем вентиляції. Такі бомбосховища можуть бути розташовані як під землею, так і над землею.

За способом використання бомбосховища можуть бути постійно діючими або непостійно діючими.

Постійно діючі бомбосховища призначені для постійного перебування людей. Вони повинні бути оснащені необхідним обладнанням для комфортного проживання людей, наприклад, ліжками, столами, лавками, а також системами вентиляції, водопостачання, каналізації, опалення.

Непостійно діючі бомбосховища призначені для тимчасового перебування людей. Вони не оснащуються таким самим обладнанням, як постійно діючі бомбосховища.

Бомбосховища повинні відповідати наступним вимогам:

- Міцність конструкції повинна забезпечувати захист людей від дії вражаючих факторів. Конструкція бомбосховища повинна бути такою, щоб вона могла витримати вплив ударної хвилі, осколків, а також від пожежі та задимлення.
- Герметичність повинна забезпечувати захист людей від дії отруйних речовин, радіоактивних випромінень. Освітленість повинна забезпечувати нормальну видимість.
- Вентиляція повинна забезпечувати достатній повітрообмін.
- Водопостачання повинно забезпечуватися з резервного джерела.
- Каналізованя повинно забезпечуватися з резервного джерела.
- Опалювання повинно забезпечуватися з резервного джерела.

3. Характеристика бомбосховища та будівельних конструкцій.

3.1. Характеристика та тип бомбосховища.

Місце розташування об'єкта: Одеська область, Березівський район, село Калинівка

Найменування об'єкта: Бомбозховище Калинівського ліцею Коноплянської сільської ради Березівського району Одеської області

Географічна широта: 47.053043, 30.647782

Цивільне бомбосховище, розташоване в селі Калинівка під егідою Коноплянської сільської ради Березівського району, є некласифікованим та непостійно діючим. Це підземна споруда призначена для захисту учнів, вчителів, та місцевих жителів від потенційних загроз, таких як ракетні удари, осколки, вибухові хвилі, задимлення та інші військові небезпеки, що виникли у зв'язку з початком повномасштабного воєнного конфлікту.

Структура бомбосховища включає стелю, розташовану на глибині 2 метрів під поверхнею, один головний вхід, що веде до коридору, та аварійний вихід, який прямує безпосередньо на поверхню з основного приміщення. Електропостачання здійснюється через місцеву електромережу або за допомогою бензинового генератора. У бомбосховищі також облаштовано біотуалет із витяжною вентиляцією та забезпечено наявність питної та технічної води, обрахованої з урахуванням потреб присутніх осіб.

Для обігріву використовуються електронагрівачі. Завдяки розташуванню нижче рівня промерзання ґрунту, температура всередині бомбосховища залишається стабільною, хоча висока вологість повітря є проблематичною через підземне розташування. Для регулювання вологості використовується осушувач. Системи кондиціонування відсутні. Пристуня вентиляція з природнім циркулюванням повітря.

3.2. Характеристики будівельних конструкцій бомбосховища та теплові втрати бомбосховища.

Початкові данні:

Стіни:

Цементно-гранітна штукатурка: $d=0.025\text{м}$

Ракушняк $d=2\text{м}$

Цементно-гранітна штукатурка: $d=0.025\text{м}$

Підлога:

Бетонно-армована стяжка: $d=0.1\text{м}$

Стеля:

Бетонна плита перекриття: $d=0.25\text{м}$

Земляний насип: $d=2\text{м}$

Коефіцієнтів теплопровідності (λ) для кожного матеріалу:

Цементно-гранітна штукатурка: $1.4 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

Ракушняк: $0.47 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

Бетонно-армована стяжка: $1.7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

Бетонна плита перекриття: $1.7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

Земляний насип: $0.25 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

Так як сховище знаходиться на глибині нижче 2 метрів ґрунту, як відомо для цього регіону температура на такій глибині $+5/+7^\circ\text{C}$ в зимку та $+10^\circ\text{C}$ влітку.

Розрахунок опору теплопередачі (R) для кожного шару:

$$R = \frac{\lambda}{d}$$

Цементно-гранітна штукатурка:

$$R = \frac{0.025\text{м}}{1.4 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})} = 0.01786 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

Ракушняк:

$$R = \frac{2\text{м}}{0.47 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})} = 4.25532 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

Бетонно-армована стяжка:

$$R = \frac{0.1\text{м}}{1.7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})} = 0.05882 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

Бетонна плита перекриття:

$$R = \frac{0.25\text{м}}{1.7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})} = 0.14706 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

Земляний насип:

$$R = \frac{2_m}{0.25 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})} = 8 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

Розрахунок загального опору теплопередачі (U-значення):

$$U = \frac{1}{\sum R}$$

$$U = \frac{1}{0.01786 + 4.25532 + 0.05882 + 0.14706 + 8} = 0.09926 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Розрахунок теплових втрат на квадратний метр:

$$Q = U \times \Delta T$$

Зимовий період:

Всередині сховища: 21°C

Зовні: 6°C

$$\text{Теплові втрати: } Q_{\text{зим.}} = 0.09926 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \times (21 - 6)^\circ\text{C} = 1.4889 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

Літній період:

Всередині сховища: 23°C

Зовні: 10°C

$$\text{Теплові втрати: } Q_{\text{літ.}} = 0.09926 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \times (23 - 10)^\circ\text{C} = 1.29038 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

Завдяки місцезнаходжені бомбосховища теплові втрати дуже низькі, це свідчить про добру ізоляцію та ефективність теплоізоляційних матеріалів які використовуються.

4. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ ПОВІТРЯ.

4.1.Вибір розрахункових параметрів повітря.

Циліндроподібне приміщення

Висота = 3м

Діаметр = 10м

Параметри зовнішнього повітря(за даними по Одеській області):

$t_{\text{зим}} = 2^{\circ}\text{C}$

$t_{\text{літ}} = 28^{\circ}\text{C}$

$\varphi_{\text{зов}} = 75\%$

Середньорічний атмосферний тиск = 744,3 мм рт. ст.

Параметри внутрішнього повітря (за ДБН В.2.2-5:2023):

$t_{\text{внут}} = 23^{\circ}\text{C}$

$\varphi_{\text{внут}} = \text{до } 60\%$

$V_{\text{внут}} = 0.1\text{м/с}$

Концентрація $\text{CO}_2 = 2\%$ об'єму

Концентрація $\text{CO}_2 = 30\text{ мг/м}^3$

Концентрація летких органічних сполук та загальних летких органічних речовин = $<700\text{ мкг/м}^3$

За нормами площа на 1 дитину (будемо брати саме цю цифру за основу):

$A_{1\text{люд}} = 2\text{м}^2$

Формула для обчислення площі основи циліндра (яка є колом) є наступною:

$$A = \pi r^2$$

де A – площа, r – радіус (половина діаметра), а π – математична константа.

$$A = \pi \times 5^2 = 78.54\text{ м}^2$$

$$N_{\text{люд}}/\text{м}^2 = \frac{A}{A_{1\text{люд}}} = \frac{78.54}{2} \approx 39_{\text{люд}}/\text{м}^2,$$

$$N_{\text{max людей}} = 40 \text{ осіб}$$

4.2. Розрахунок потужності кондиціонера

У відповідності до специфікацій даного приміщення, я обрав встановлення спліт-системи кондиціонування. Такий вибір обумовлений тим, що враховуючи обмежені розміри приміщення, а також невеликі тепло-втрати інші типи кондиціонерів можуть бути надмірними або неефективними. Для визначення оптимальних параметрів спліт-системи буде використано спрощений метод розрахунків, який дозволить адекватно оцінити необхідну потужність та продуктивність системи, враховуючи конкретні умови приміщення.

Для точного розрахунку потужності кондиціонера з огляду на площу приміщення, його потужність визначається як агрегатна сума усіх джерел тепла, що надходять у приміщення $Q_{\text{загальне}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$, де:

- Q_1 — це приплив тепла через вікна, стіни та стелю, розраховується за формулою: $Q_1 = S \times h \times q / 1000$, де S — площа кімнати в м^2 ; h — висота стелі в метрах; q — коефіцієнт освітленості. Для темних кімнат $q=30$, для кімнат зі середньою освітленістю — $q=35$, для кімнат з прямим сонячним світлом більшу частину дня — $q=40$.
- Q_2 — тепловиділення від людей. У спокійному стані цей показник становить 0,1 кВт, при легкій фізичній активності — 0,13 кВт, при важкій роботі — 0,2 кВт.
- Q_3 — тепловипромінювання від електроприладів. Для телевізорів $Q_3=0,3$ кВт, для комп'ютера — 0,2 кВт. Для іншої побутової техніки цей показник дорівнює 30% від максимальної заявленої потужності.

Тепловиділення через стіни, стелю та вікна (Q_1):

Площа основи конуса $S = \pi \times r^2$

$$r = \frac{\text{діаметр}}{2} = \frac{10\text{м}}{2} = 5\text{м}.$$

$$S = \pi \times 5^2 = 25\pi \approx 78.54\text{м}^2.$$

Висота стелі $h = 3 \text{ м}.$

Коефіцієнт освітленості для темних кімнат $q = 30$.

$$Q_1 = 78.54 \times 3 \times 30 / 1000 \approx 7.06 \text{ кВт.}$$

Тепловиділення від людей (Q2):

Загальне тепловиділення від людей

$$Q_2 = 40 \times 0.1 = 4 \text{ кВт.}$$

Тепловипромінювання від електроприладів (Q3):

Один комп'ютер $Q_{3\text{комп}} = 0.2 \text{ кВт.}$

Для освітлення, припустимо, що вони споживають загалом 0.5 кВт.

$$Q_3 = 0.2 \text{ кВт} + 0.5 \text{ кВт} = 0.7 \text{ кВт.}$$

Загальне теплове навантаження ($Q_{\text{загальне}}$):

$$Q_{\text{загальне}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 7.06 \text{ кВт} + 4 \text{ кВт} + 0.7 \text{ кВт} = 11.76 \text{ кВт.}$$

Додамо 20% від прорахованої потужності на випадок додаткових тепопритоків які можуть з'явитися від більшої кількості людей чи додаткових електротехніки:

$$Q = Q_{\text{загальне}} + 20\% = 11.76 \text{ кВт} + 20\% = 14.112 \text{ кВт}$$

Приймаю **14 кВт**

У випадку, коли при огляді пропозицій від дистриб'юторів кліматичного обладнання не вдається знайти систему з точно визначеною потужністю, рекомендується віддати перевагу моделі з більшою потужністю. Однак категорично не рекомендується вибирати систему з меншою потужністю, оскільки це може призвести до недостатньої ефективності кондиціонування приміщення.

4.3 Розрахунок іонного вентилятора

Іонний вітер представляє собою процес, при якому відбувається переміщення повітря або інших рідин, ініційоване коронним розрядом. Це явище було вперше детально вивчено науковцями у далекому 1899 році, зокрема дослідником на ім'я Чатток, хоча відомості про нього з'явилися ще раніше. В останні роки іонний вітер знайшов застосування у сфері перекачування рідин та був розглянутий як потенційний двигун в повітрі, про що свідчать дослідження Крістенсона та Моллера. Крім того, цей принцип лежить в основі пристрою для очищення повітря, відомого як "Іонний Бриз", який вже випускається комерційно.

Коронний розряд представляє собою особливий тип електричного розряду у повітряному середовищі, що виникає між електродами з різною кривизною - один з них має значну вигнутість, тоді як інший може бути менш вигнутим або навіть плоским. Цей процес характеризується високим рівнем напруги, але при цьому сила струму залишається низькою. У випадку, коли напруга досягає надмірно високих значень, вона може переходити в іскровий розряд. Отже, ефективність коронного розряду обмежується певним діапазоном потужності, в межах якого він здатен функціонувати.

Невеликі дослідження були проведені науковцями NASA в дослідженні в сфері іонної тяги для використання в якості двигунів для літальних апаратів. Саме з цих досліджень я і використовував розрахункові формули так як принципи іонного вентилятора та двигуна дуже схожі.

Коронний розряд відбувається між електродом з гостро вигнутою поверхнею, наприклад, кінчиком або тонким дротом, та більшою, менш вигнутою поверхнею, або навіть площиною. Кінчик або дріт називають емітуючим електродом, який може бути заряджений як негативно, так і позитивно. Інший електрод називають колекторним електродом, і він заземлений. Корона є формою світіння розряду, в якому, крім невеликої області навколо еміттера, струм переноситься виключно іонами. Напруги

варіюються в діапазоні від 10 до 50 кВ у повітрі при атмосферному тиску. Маленький розмір еміттера створює дуже велике локальне електричне поле в околицях кінчика або дроту, порядку 10^7 В/м. Такі високі поля призводять до полевого випромінювання електронів. Якщо еміттер заряджений позитивно, електрони повернуться до еміттера, але в процесі вони зазнають зіткнень з молекулами повітря, створюючи позитивно заряджені іони. Ці іони будуть відштовхуватися еміттером і притягуватися до колектора. На своєму шляху до колектора, іони вдарятимуться об молекули повітря, передаючи їм імпульс і таким чином генеруючи іонний вітер. Регіон, де створюються іони, дуже малий порівняно з відстанню між еміттером та колектором, тому більшу частину області розряду домінує іонний струм. Товщина, δ (мм), іонізаційної області може бути розрахована за наступною формулою:

$$\delta = \sqrt{a}$$

де a (мм) — це радіус дроту або радіус кінчика точки. Якщо прикладена напруга збільшується занадто сильно і наближається до напруги іскрового пробою для цього зазору, світіння розряду перетворюється на іскру.

Христенсон та Моллер показали, що тяга, генерована іонним вітром у повітрі, T (Ньютонах), може бути представлена як:

$$T = Id/\mu$$

де I — це струм у розряді (ампери), d — це відстань між емітерним та колекторним електродами (метри), а μ — це рухливість іонів ($\text{м}^2/\text{В-сек}$).

Враховуючи тягу, тяга на одиницю потужності, θ , виражається як:

$$\begin{aligned}\theta &= T/IV \\ &= (d/V)/\mu \\ &= 1/E\mu\end{aligned}$$

де V - це прикладена напруга, а E - середнє електричне поле, яке визначається як $E = V/d$. Останнє рівняння показує складність використання іонного вітру в якості силової установки, оскільки для отримання високого співвідношення тяги до потужності електричне поле повинно бути низьким, що означає низький струм, а отже, і низьку тягу за рівнянням (2). Альтернативою є низька рухливість. Рухливість повітря відома і залежить від вологості, але змінюється лише від значення $2,15 \times 10^{-4}$ м² /В-сек для сухого повітря до $1,6 \times 10^{-4}$ для насиченого повітря. Крістенсон і Моллер знали про це, але припустили, що ефективну рухливість можна зменшити, пульсуючи прикладену напругу. Здається, не існує жодних записів про те, що їм це вдалося. На основі своїх експериментів Крістенсон і Моллер дійшли висновку, що ефективність рушія становила близько 1 відсотка, що занадто мало для практичного використання. Максимальна виміряна ними сила тяги становила близько 0,45 Н при площі потоку приблизно 0,1 м² , а оптимальне співвідношення сили тяги до потужності - 21 Н/кВт. Єдиною геометричною змінною в експерименті була відстань між електродами.

Рівняння можна отримати дуже просто, припустивши, як це зробили Крістенсон і Моллер, що електричне поле є однорідним в основній частині коронного розряду з прикладеною напругою V (вольт). Оскільки після того, як іони покинули область високого поля навколо вістря, більше не створюється, добуток густини іонів, n_i , на поперечний переріз розряду, A , буде постійним. На кожен іон діятиме електростатична сила, T_i

$$T_i = e E$$

де e - одиничний заряд, і, звичайно, на електродах діють рівні та протилежні сили. Тоді сумарна сила всіх іонів на електродах дорівнює

$$T = N T_i = N e E$$

де N , загальна кількість іонів у розряді, просто $N = n_i A d$. Струм розряду задається формулою

$$I = n_i e v_i A$$

де v_i - середня швидкість іонів, яка задається формулою $v = \mu E$. Звідси випливає, що сумарна сила на електродах становить:

$$\begin{aligned} T &= N e E \\ &= n_i A d e E \\ &= (n_i e v_i A) d E / \mu E \\ &= I d / \mu \end{aligned}$$

що узгоджується з рівнянням (2). Це показує, що сила тяги, пов'язана з іонним вітром, є просто електростатичним відштовхуванням анода і притяганням катода до хмари іонів у розряді.

Швидкість іонів у наведеному вище виведенні залежала від рухливості іонів, яка визначається зіткненнями іонів з повітрям, крізь яке вони рухаються. Сам іонний вітер створюється при кожному зіткненні іона з молекулою повітря, що перешкоджає руху іона до катода і прискорює повітря до катода. Проілюструємо це за допомогою простої моделі зіткнень. Іони знаходяться в однорідному полі, і тому будуть прискорюватися з постійним прискоренням, а, яке задається;

$$a = eE/m_t$$

де m_t - маса іона. Пролетівши відстань λ , тобто середній вільний пробіг іонів у повітрі, іон зіткнеться з молекулою повітря. Якщо далі припустити, що при цьому зіткненні іон зупиняється, а молекулі повітря передається весь імпульс, який іон мав до зіткнення, то іон пройде відстань λ за час t , такий, що:

$$\lambda = at^2/2$$

а середня швидкість іона дорівнює:

$$\begin{aligned} v_i &= \lambda/t \\ &= at/2 \\ &= (eE/2m_i) \sqrt{2m_i \lambda / eE} \\ &= E \sqrt{e \lambda / 2m_i} \end{aligned}$$

а v_i / E - рухливість μ , так що:

$$\mu = \sqrt{e\lambda/2m_iE}$$

Результат, що μ пропорційний оберненому квадратному кореню з поля, узгоджується з результатами для іонів у повітрі при високому електричному полі, наведеними Сігмондом . Проходячи відстань d між емітером і колектором, кожен іон зазнає d/λ зіткнень. При кожному зіткненні іон має імпульс $2m_i v$, який він передає молекулі повітря. Це припускає лобове зіткнення однакових за масою іонів і молекул повітря. Таким чином, сумарний імпульс, що надається повітрю за секунду, тобто сила, що прискорює повітря, F , дорівнює:

$$F = n 2 m_i v_i d / \lambda$$

де n - кількість іонів, що надходять на колектор за секунду, $= I/e$. Підставивши це та рівняння (10) для v_i у рівняння (12), отримаємо силу, що прискорює повітря:

$$F = I d \sqrt{2m_i E / e \lambda}$$

і використовуючи рівняння

$$F = Id/\mu$$

Таким чином, видно, що сила, яка прискорює повітря, тобто імпульс, що надається іонному вітру, дорівнює тязі на електродах, яка сама по собі є реакцією на електростатичну силу, що діє на іони.

Крістенсон і Моллер використовували кілька гострих точок, але не вказували, скільки саме, хоча ескіз їхнього апарату вказує на те, що вони можуть бути розташовані на відстані кількох сантиметрів одна від одної. Дослідження Чаттока показало, що діаметр досліджуваних ним розрядів, які знаходилися між однією гострою точкою і плоскою поверхнею, був меншим приблизно на 1 см. Таким чином, здається, що голки можна було б розмістити приблизно на такій відстані одна від одної, що значно зменшило б лобову площу, необхідну для заданої тяги. Однією з цілей цього дослідження була

зміна геометрії електродів, щоб побачити, за яких умов можна досягти кращого співвідношення тяги до лобової поверхні і при якому співвідношенні тяги до потужності, щоб оцінити, чи можна практично використовувати такі пристрої. Друга мета полягала в тому, щоб дослідити пульсацію напруги, що подається, щоб побачити, чи призводить це до збільшення співвідношення тяги до потужності. На додаток до цих завдань було проведено ряд тестів, щоб визначити, чи дійсно тяга, що створюється коронним розрядом, пов'язана з іонним вітром, який генерується розрядом.

Виникали питання про те, чи тяга, що генерується коронним розрядом, зумовлена створенням іонним вітром, чи якимось іншим механізмом, можливо, взаємодією між гравітацією та електромагнетизмом. На ці питання частково відповів Таджмар. В елегантному експерименті Таджмар помістив коронний розряд повністю в коробку, підвішену на дротах. При увімкненні розряду не спостерігалось жодного руху коробки, навіть незважаючи на те, що використовувалася дуже чутлива система виявлення руху. Оскільки корпус блокував іонний вітер, але не повинен був впливати на інші механізми, це вказує на те, що іонний вітер створює тягу. Однак це не показує кількісно, що тяга ідентична імпульсу іонного вітру. Отже, було проведено два тести, які дозволяють зробити такий висновок.

В експериментах використовували два різні "підйомники" коронного розряду. Першим був шестикутний підйомник типу, описаного Наудіном, що складався з шестикутника, складеного з шести рівносторонніх трикутників зі сторонами 150 мм завдовжки. На кожній стороні внизу був електрод-колектор, виготовлений з горизонтальних брусків липи, розділених по вертикалі приблизно на 15 мм, і укладений в алюмінієву фольгу. На відстані 32 мм над колекторними електродами були розміщені дроти діаметром 0,07 мм, що утворювали емітерні електроди. Маючи загальну вагу 9 г, він відривався від землі, коли до емітерних електродів подавали напругу 24,6 кВ, генеруючи струм 1,4 мА. Під час випробувань він був встановлений на

цифрових вагах Ohaus, Scout- Pro, з діапазоном зважування 400 г і роздільною здатністю 0,1 г. Спочатку він був встановлений на відкриту опору, яка стояла безпосередньо на вагах, а потім між ліфтером і вагами був встановлений екран, який блокував вплив іонного вітру на ваги. Опорні ніжки проходили через невеликі отвори в щиті. Ваги обнулялися при знятому підйомнику, і таким чином зчитувалася вага підйомника, коли останній встановлювався на опору без протікання струму.

Другий підйомник, який називався коробчастим, мав набір з 13 паралельних заземлювачів, кожен довжиною 150 мм, з переднім краєм радіусом 4,5 мм, з 8-міліметровим полотном за ним, яке було загорнуте в алюмінієву фольгу, щоб зробити електрод струмопровідним. Вони були встановлені в квадратному каналі з пінополістиролу, 150 мм з кожного боку і 50 мм заввишки, відкритому зверху і знизу, з передніми краями в одній площині, нормальній до висоти, яка знаходилася на відстані 15 мм від дна каналу. Високовольтний, або емітерний, електрод складався з мідних дротів діаметром 0,075 мм, натягнутих поперек каналу, по одному над кожним заземлювачем, у площині на висоті 32 мм над площиною землі.

Обидва підйомники живилися від високовольтного джерела постійного струму Glassman моделі EQ30P40 з максимальною напругою і силою струму 30 кВ і 40 мА відповідно. Напруга та струм вимірювалися за допомогою лічильників, вбудованих в блок живлення. Амперметр зчитує лише кожні 0,1 мА, однак, встановивши напругу таким чином, щоб струм змінювався від одного зчитування до іншого, можна було досягти точності, можливо, в 0,1 мА, 0,02 мА, що відповідає можливій похибці у силі 0,1 г. При роздільній здатності ваг 0,1 г точність вимірювань становить близько 0,2 г, що є достатнім для цілей цього дослідження.

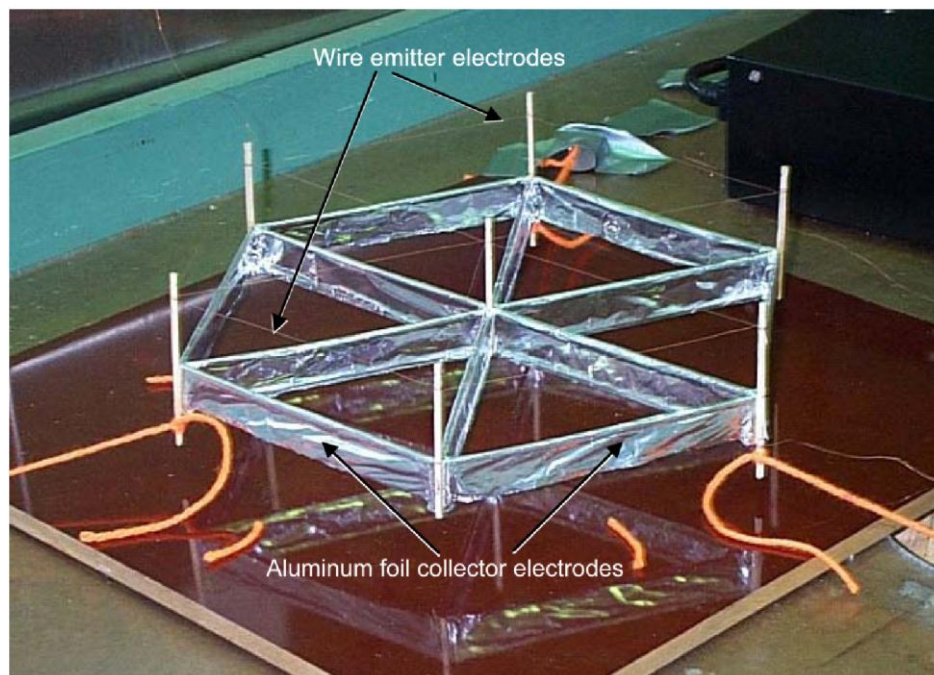


Рис.4.3.1 Фотографія "гексалифтера". Як видно з віддзеркалень у фенольній дошці днища прив'язаних вертикальних стійок, підйомник знаходиться в "польоті".

Для другого експерименту іонний вітер вимірювався за допомогою балістичної пластини, що складається з шестикутної пластини шириною 330 мм, виготовленої з тонких смужок липи, обклеєних звичайним папером;

Рис 4.3.2. Через пластину проходили два горизонтальних вали, до кінців яких були прикріплені нитки, що утворювали чотири дротяну опору, завдяки чому пластина під час руху залишалася нормальною до горизонту. Іншим кінцем нитки були прикріплені до опорної конструкції, до якої також була прикріплена шкала, за якою можна було зчитувати переміщення плити. Маса упорної пластини і валів, M , становила 23,4 г, а довжина ниток, ℓ , - 47,6 см. Переміщення пластини, δ , відраховували за шкалою, прикріпленою до опорна конструкція. Упорна плита, ваги та підйомник ящиків, встановлений збоку, показані на рисунку

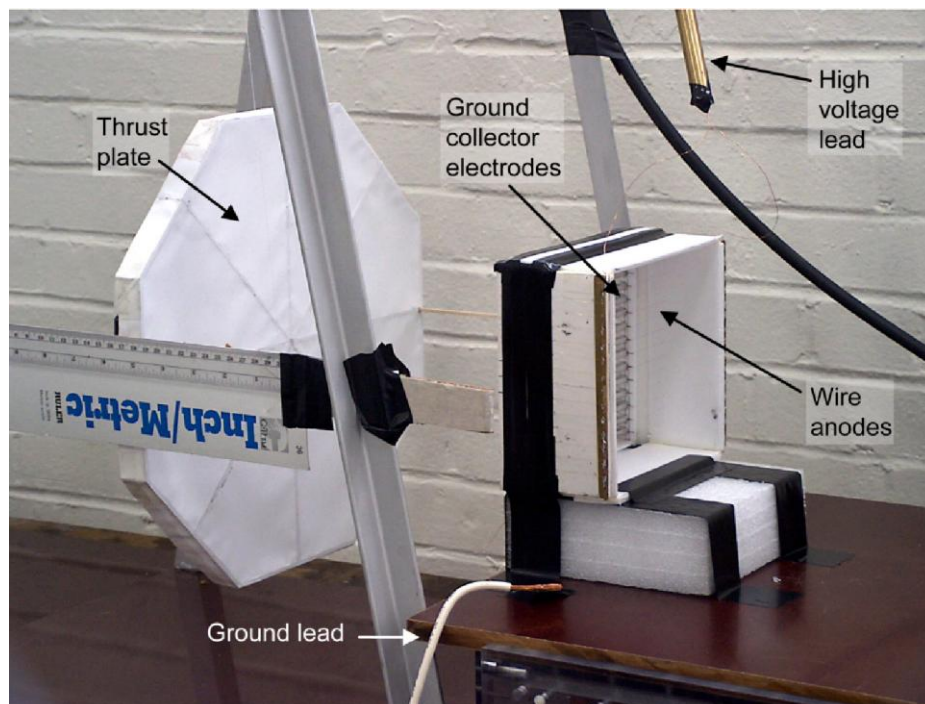


Рис. 4.3.2-Фотографія упорної пластини і підйомника коробки.

Опис експериментів

У першому експерименті шестикутний підйомник був розміщений на підставці, що стояла на вагах, які потім показували вагу підйомника. Між підйомником і вагами не було ніякого блокувального екрану. Вмикалося джерело живлення, і напруга збільшувалася поетапно, кожен крок відповідав збільшенню сили струму на одну десяту міліампера. Було зафіксовано показання ваг, які показано на рисунку 4.3.3, як функцію сили струму, як верхня крива. При силі струму 1,4 мА атлет піднявся з рівноваги.

Після цього тесту між атлетом і вагами розмістили блокувальний екран, і тест повторили. Тепер показання ваг були нижньою лінією на рисунку 4.3.3. У другому експерименті підйомник з ящиком поставили на ваги з встановленим екраном і знову зняли залежність сили від струму. Після цього підйомник встановили так, щоб його вісь була горизонтальною, і розмістили так, щоб його вихлоп був спрямований на упорну пластину, причому осі підйомника і упорної пластини збігалися, як на рисунку 4.3.2. Струм

підводили поетапно, як і раніше, але тепер вимірювали прогин упорної пластини як функцію струму. Прогин пластини, звичайно, пов'язаний з силою іонного вітру. На рисунку 4.3.4 сила тяги, виміряна вагами, порівнюється з силою іонного вітру на упорній пластині.

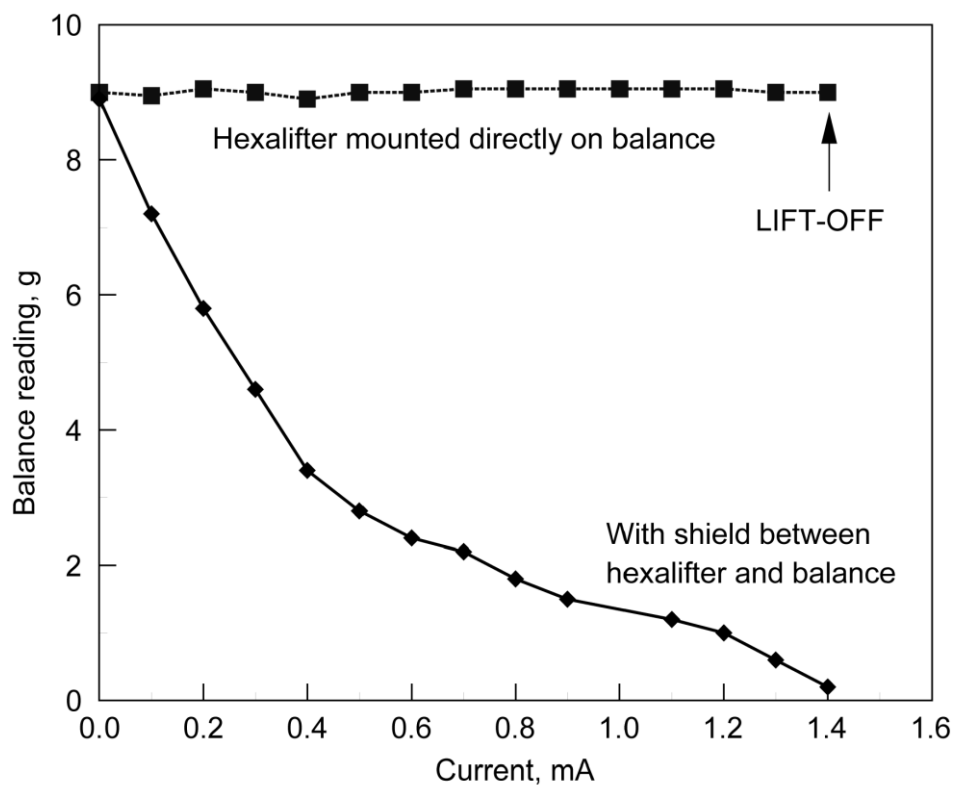


Рис. 4.3.3 Показання ваг залежно від струму для гексаліфтера, встановленого безпосередньо на вагах, і з екраном між гексаліфтером і вагами.

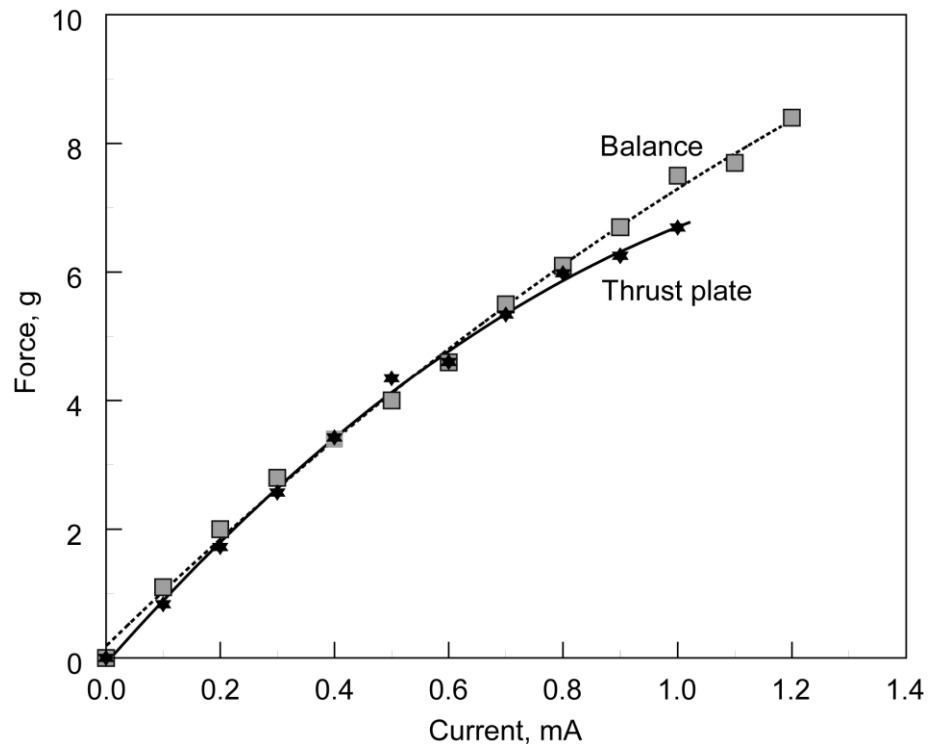


Рис .4.3.4 Вимірювання сили, що діє коробчастим підйомником на ваги і на упорну пластину залежно від струму.

У першому експерименті навантаження на терези, L , без встановленого щита буде дорівнювати

$$L = (W - T_e) + T_{iw}$$

де доданок у дужках - це вага атлета, W , мінус електрична тяга, T_e , а другий доданок, T_{iw} , - це сила на вагах, зумовлена імпульсом іонного вітру. Якщо імпульс електричного вітру дорівнює електричній силі тяги, вони зрівноважуються, і показання ваг залишаються на рівні ваги атлета зі збільшенням сили тяги, як це спостерігається. Однак, коли іонний вітер заблокований, сила на вагах - це просто доданок у дужках, який повинен дорівнювати нулю, коли атлет піднімається.

Саме це і відбувається, як показано на нижній кривій на рисунку 4.3.3. У першій фазі другого експерименту знову знімають показання ваг $(W - T_e)$, з яких отримують T_e як функцію сили струму, знаючи W для атлета. Саме T_e

зображено в залежності від сили струму на рисунку 3.4. Зсув упорної пластини, δ , силу на упорній пластині, F , за формулою:

$$F = M \tan (\arcsin(\delta/l))$$

Ця сила F має дорівнювати силі тяги іонного вітру T_{iw} . Як видно з рисунка 4.3.4, за винятком верхніх значень струму, значення T_e з балансу і T_{iw} з упорної пластини дуже добре узгоджуються. Розбіжність при більших значеннях струму, ймовірно, пов'язана з тим, що при великих прогинах упорна пластина при переміщенні також переміщалася вгору, і, незважаючи на чотириточкову опору, також нахилилася.

Те, що з точністю до цього експерименту показання терезів не змінювалися при збільшенні струму, коли гексаліфтер був встановлений безпосередньо на терезах, показує, що електрична підйомна сила дорівнює силі тяги від іонного вітру, тобто, що $T_e = T_{iw}$. Те, що вона змінилася, коли між підйомником і вагами помістили щит, прямуючи до нуля при силі струму, при якій підйомник піднявся з опори, показує, що в цій точці електрична тяга T_e дорівнює вазі гексаліфта, а отже, оскільки, зверху, електрична тяга дорівнює іонної вітрової тяги, остання також дорівнює вазі підйомника. Іншими словами, сила іонного вітру ідентична підйомній силі, що створюється коронним розрядом.

Аналогічно, для бокс-ліфта, оскільки крива залежності електричної тяги від струму добре узгоджується з кривою тяги іонного вітру від упорної пластини, знову ж таки, електрична сила підйому дорівнює силі іонного вітру. Упорна пластина виготовлена з непровідних, немагнітних матеріалів, і тому реагує тільки на силу вітру, так що те, що вона вимірює, є тягою, зумовленою іонним вітром. Оскільки сила тяги при заданому струмі однакова, незалежно від того, чи ліфтер знаходиться в горизонтальному чи вертикальному положенні, будь-який взаємозв'язок між електромагнетизмом і гравітацією здається неправдоподібним.

З результатів з шестигранним підйомником видно, що тяга/потужність дорівнює 2,6 Н/кВт, коли пристрій піднімається з опори. Це значно менше, ніж найкращі значення, отримані Крістенсоном і Моллером. Однією з головних відмінностей є те, що Крістенсон і Моллер використовували штирі, а не дроти. Це свідчить про те, що штифти є кращими за дроти. При використанні штифтів існує ряд змінних, які можуть впливати на продуктивність ліфтера, а саме: зазор d , кількість штифтів на один електрод, відстань між електродами, s , кількість електродів і радіус кінчика штифта, r . Були проведені експерименти, щоб спробувати визначити оптимальні значення цих величин.

Для цього підйомник коробок був оснащений електродами-випромінювачами з тонких латунних листів, до яких були припаяні звичайні побутові шпильки, як показано на рисунку 4.3.5(a). Підйомник був встановлений на опорах на вагах, як описано в розділі 3, з екраном між ними. Показання ваг разом з показаннями струму і напруги знімалися при поступовому збільшенні напруги. З показань і виміряного значення відстані від точки контакту до переднього краю колектора, d , можна було обчислити значення θ і E .

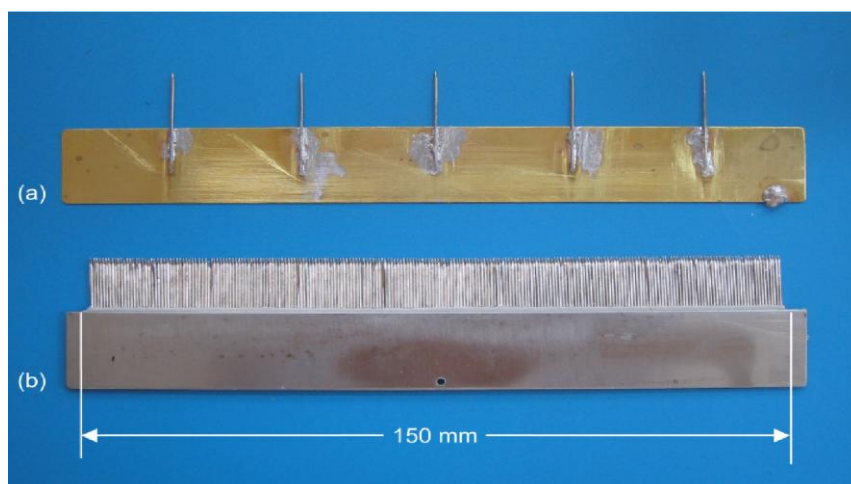


Рис. 4.3.5 Фотографії (а) емітерного електрода з п'ятьма контактами і (б) щіткового електрода з двомастами п'ятдесятьма чотирма контактами

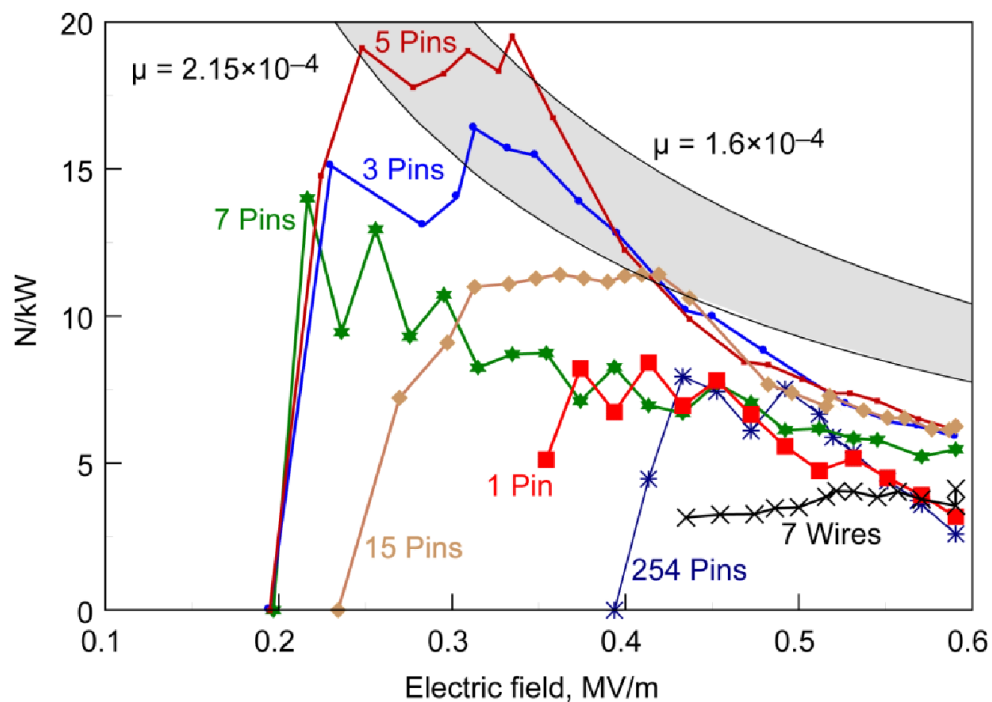


Рис . 4.3.6 Продуктивність одного емітерного електрода з різною кількістю штифтів. Штифти являють собою побутові штифти, із зазором $d = 50$ мм. Також показано виконання масиву із семи проводів.

При оцінці оптимальної кількості штифтів на електрод використовували один емітерний електрод, з позитивною напругою на емітер. Зазор був зафіксований на значенні $d = 50$ мм, і використовувалися побутові шпильки. Використовувалася різна кількість штифтів, включаючи електрод, для якого якомога більше штифтів (254) було розміщено поруч;. Подібні електроди використовувалися і в інших схемах розряду . Мета полягала в тому, щоб генерувати великий струм, а отже, згідно з рівнянням (1), і велику тягу. Результати для різної кількості виводів, представлені у вигляді залежності θ від E . Для порівняння також показано результати для масиву дрітчастих випромінювачів. Додатково наведено область, обмежену рівнянням (2), з

використанням рухливості для сухого і насиченого повітря, показану як заштрихована область.

Результати показують, що дійсно існує оптимальна кількість штифтів, або, швидше за все, оптимальна відстань між штифтами. Кількість штифтів дорівнює п'яти, що відповідає відстані 29 мм. Зі збільшенням кількості штифтів помітно, що існує критичне електричне поле, а отже, і критична напруга для виникнення тяги, яка зростає зі зближенням штифтів. Ймовірно, що близька відстань впливає на розподіл поля навколо штирів, знижуючи локальне поле на кінчику кожного штиря. Масив дротів демонструє низьку ефективність порівняно з штирями.

У першому тесті з п'ятнадцятьма штифтами на електрод було проведено експерименти з трьома емітерними електродами при чотирьох відстанях між електродами $s = 9,5, 19, 38$ і 57 мм, при струмі $0,1$ ма. Результати наведено в таблиці

таблиця 1 - результати тестів, в яких змінювалася відстань між трьома випромінювачами

Відстань, мм	Напруга, кВ	Тяга, N	θ , Н/кВт
9.5	25.3	0.02	0.79
19	24.3	0.02	0.82
38	22.4	0.023	1.03
57	22.1	0.02	0.90

Хоча напруга для досягнення $0,1$ мА монотонно зменшується по мірі віддалення електродів, що знову ж таки вказує на взаємодію між електродами, коли вони знаходяться близько, тяга вища при віддаленні 38 мм, ніж при віддаленні 57 мм, що призводить до більшого значення θ . Це спостерігалось також при струмі $0,2$ мА. Зроблено висновок, що 38 мм є оптимальним

відстанню між електродами. При такій відстані максимальна кількість електродів випромінювача, яку можна було розмістити в каналі і залишити еквівалентний простір між зовнішніми електродами і стінкою, становила три електроди.

Вище було зазначено, що існує критична напруга для виникнення тяги. Відомо, що існує критична напруга для початку протікання струму в коронному розряді, яка залежить від радіуса вістря штиря. Її можна визначити, побудувавши графік залежності I/V від V , як буде показано нижче. Такі вимірювання були зроблені для масиву з семи електродів-емітерів, з сімома штифтами кожен, і масиву з трьох емітерів з п'ятьма штифтами кожен, обидва з використанням побутових штифтів, а також для масиву з трьох емітерів з вольфрамовими штифтами. Вольфрамові штифти були оброблені, щоб забезпечити набагато менший радіус наконечника, ніж у побутових штифтів. Також було протестовано один електрод з двомастами п'ятдесятьма чотирма побутовими штифтами. Результати наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Матриця електродів	Радіус наконечника, r , мкм	Критична напруга, кВ
Один електрод з двомастами п'ятдесятьма чотирма контактами	10	12.5
Сім електродів з сімома побутовими штифтами	10	10
Три електроди з п'ятьма побутовими штифтами	10	7.5
Три електроди з п'ятьма вольфрамовими штифтами	2	5

таблиця 2 - критичні напруги для різних розташувань електродів

Згідно з Кобіном, критична напруга залежить тільки від радіуса наконечника, а не від розміру зазору. Однак він розглядав лише один точковий електрод.

Виявляється, що не тільки радіус вістря, але й геометрія масиву штирів може впливати на критичну напругу.

Масив з трьох емітерних електродів з п'ятьма контактами має нижчу критичну напругу, ніж масив з семи електродів з сімома контактами кожен. Це, безсумнівно, є причиною того, що перший масив демонструє кращу продуктивність. Електрод з двомастами п'ятдесятьма чотирма контактами має найвищу критичну напругу і найгіршу продуктивність. З точки зору критичної напруги, очевидно, бажано мати якомога менший наконечник. На практиці занадто малий радіус може виявитися неефективним, оскільки буде спостерігатися ерозія вістря в розряді.

На рисунку 4.3 зображено три шпильки. Булавка зліва - побутова, до використання, посередині - вольфрамова булавка з новим вістря, а справа - вольфрамова булавка, яка використовувалася в кількох експериментах. Очевидно, що гострий кінець шпильки зазнав ерозії. Чи стабілізується швидкість ерозії на певному радіусі, і чи зменшується швидкість ерозії при малих струмах, невідомо, але це здається можливим. Це питання потребує додаткового вивчення. Крістенсон і Моллер (посилання на 3) також повідомляли про ерозію вістря, але вони використовували алюмінієві вістря, які можуть руйнуватися швидше, ніж вольфрамові. Цілком можливо, що існують кращі матеріали для голок, ніж вольфрам. Використовуючи три емітерні електроди з п'ятьма вольфрамовими штирями і відстанню між електродами 38 мм, було проведено серію випробувань, під час яких були зняті дані вольт-амперних характеристик. Вимірювалася тяга, а також струм і напруга. Використовувалися різні значення зазору, а саме 19, 44, 57, 70 і 95 мм. Значення θ і E , розраховані за цими даними, показані на рисунку 4.4. Заштрихована область - це діапазон теоретичних значень θ , розрахованих за рівнянням (2), обмежений кривими для рухомості сухого та насиченого повітря. Експериментальні значення, схоже, обмежені кривою сухої

рухливості. Також виявляється, що існує оптимальний зазор десь між 57 і 70 мм. Найбільші та найменші зазори явно гірші.



Рис. 4.3.-Фотографія трьох шпильок. Ліворуч - побутова шпилька, посередині - нова вольфрамова шпилька, а праворуч - використана вольфрамова шпилька.

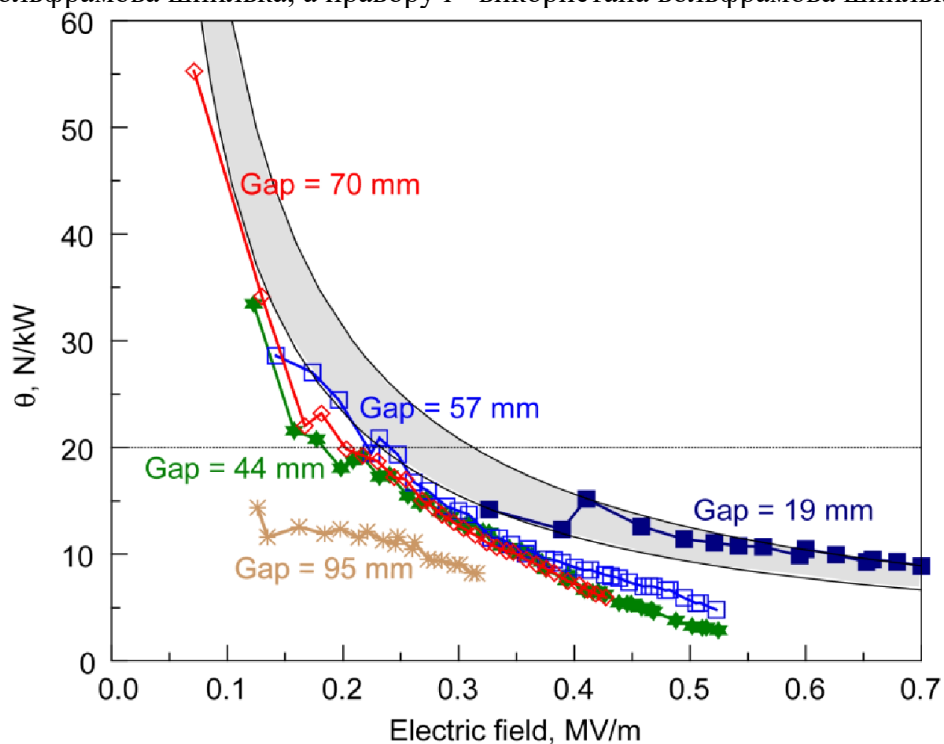


Рис. 4.44.-Графік залежності Θ від електричного поля для різних зазорів. Матриця емітерних electrode електродів являє собою три електроди з п'ятьма вольфрамовими штифтами в кожному. Заштрихована область - це область, обмежена кривими $\Theta = 1/\mu E$ зі значеннями рухливості для сухого і насиченого повітря.

Однак не можна з упевненістю сказати про оптимальний зазор, оскільки значення на лівій стороні кривої є дещо підозрілими. Це пов'язано з тим, що найменше значення на використовуваних вагах становить 0,1 г.

Експериментально встановлено, що сила тяги дорівнює 0,1 г, коли показання ваг збільшується на 0,1 г порівняно з показаннями без струму. Однак, якщо атлет важить, скажімо, 50,09 г без струму, ваги покажуть 50.0 g; сила тяги в 0.01 g змінить показання ваг до 50.1 g, і тому буде вважатися силою тяги в 0.1

g. Зі збільшенням сили тяги ця нульова похибка стає меншою проблемою, тому точки праворуч на Рисунку 4.4 є точними

Рівняння (3), здається, не має ніякої залежності від зазору, оскільки θ залежить лише від оберненої величини електричного поля, помноженого на рухливість, і буде збільшуватися при зменшенні електричного поля. Електричне поле є V/d , і якщо d зробити малим, то поле стане великим. Компенсація цього зменшенням напруги обмежена, оскільки V не може бути зменшене нижче критичної напруги V_c . Таким чином, будь-яка задана електродна сітка і зазор можуть працювати тільки при полях, що перевищують V_c/d . Для того, щоб генерувати $\theta = 20$ Н/кВт в сухому повітрі, згідно з рівнянням (3), необхідне поле становить 0,233 МВ/м, тому при критичній напрузі 5 кВ (найнижчому досягнутому на сьогоднішній день в цьому звіті), $d = 21,5$ мм. Це лише трохи більше, ніж 19 мм, які були фактично протестовані.

Але насправді, якщо напруга точно дорівнює критичній, струм, а отже, і сила прямує до нуля: для створення тяги потрібна більша напруга, яка тоді буде при меншому значенні θ .

Рівняння (2) показує, що сила тяги пропорційна розміру зазору. При виведенні цього рівняння передбачається, що електричне поле між електродами рівномірне. У реальності це не так. Якщо Якби рівняння (2) було справедливим, то графік залежності T/d від I був би однією і тією ж прямою

лінією для всіх значень d . Дані були використані для побудови такого графіка, і було виявлено, що нахил ліній є різним для кожного значення d . Натомість було зроблено припущення, що має місце рівняння вигляду,

$$T = B d^n I / \mu$$

де B - константа, було б доречним. Для кожного з п'яти різних значень d , використаних у тестах, значення $T/(I/\mu)$ було визначено на основі даних. Приймаючи певне значення для n , B можна знайти для кожного значення d . Це повторювалося при різних значеннях n , поки не $\sqrt{\Sigma(B - \bar{B})^2}$ було отримано мінімальне значення.

Мінімум було знайдено при $n = 0.56$, $B = 0.238$. На рисунку 4.5 графік $T/0.238 d^{0.56}$ побудовано проти I/μ для всіх значень d , використаних в експерименті. Якщо це правильне формулювання, всі криві повинні накладатися одна на одну. Незважаючи на деякий розкид, криві досить добре накладаються одна на одну при малих струмах, що, на щастя, є областю, яка дасть високі значення θ .

Було б корисно мати аналітичний вираз для залежності струму від напруги. Підсилювач ([18]) отримав такий вираз для випадку коронного розряду між концентричними циліндрами, радіусами r і R , відповідно, з прикладеною напругою, V , а саме:

$$I = 2\mu V (V - V_c) / R^2 \ln (R/r) \quad (18)$$

V_c - критична напруга, нижче якої струм не протікає. Випадок розряду точок на площину поверхні є більш доречним для більшості робіт, про які тут повідомляється. Хоча Райзер дав (18) рівняння електростатичного поля для випадку розряду точки на площину, він не використав його для виведення рівняння, еквівалентного рівнянню (18) для цього випадку. Електричне поле для випадку точка/площина має вигляд:

$$E(x) = 2V/(r + 2x) \ln(2d/r + 1) \quad (19)$$

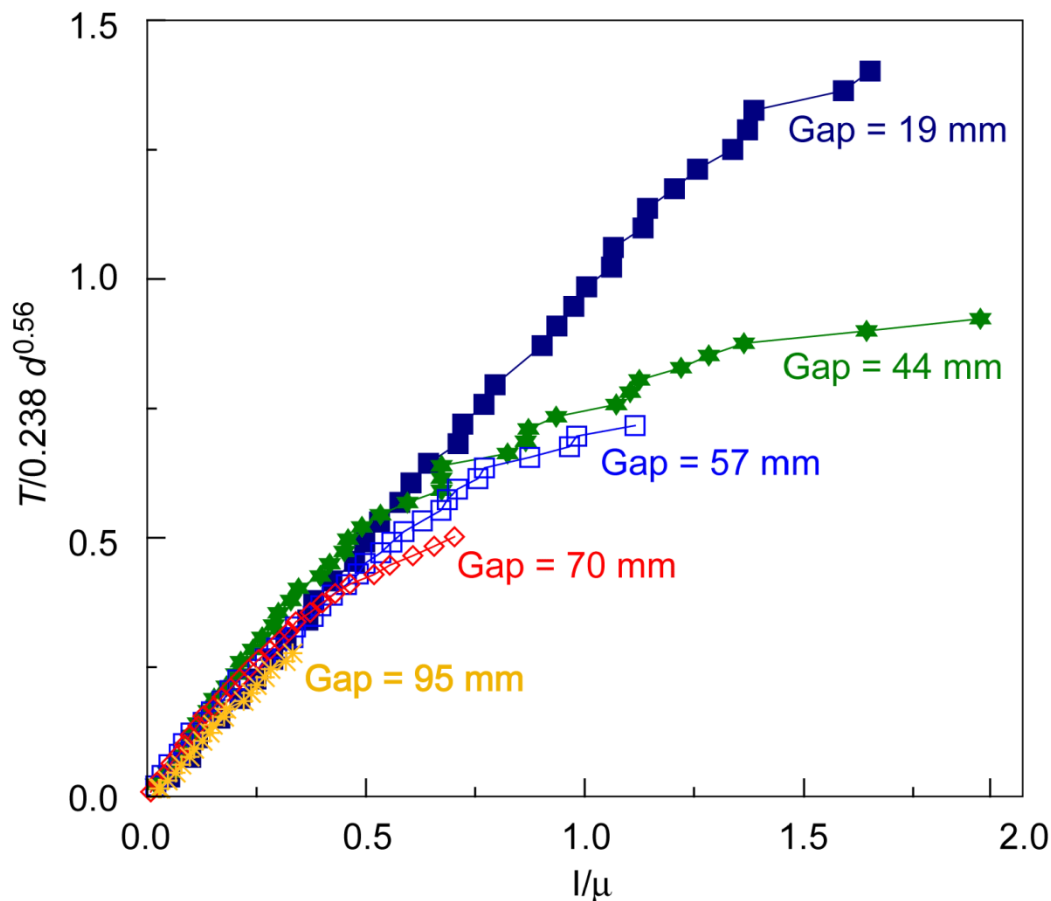


Рис. 4.5. -Тяга, поділена на $Bd^{0.56}$, побудована проти струму, поділеного на рухливість іонів. Для малих струмів нахил дорівнює одиниці, показуючи, що ці величини рівні.

де x - відстань від точки до площини, r - радіус точки, d - відстань від точки до площини. Сила струму задається формулою:

$$I = n_t e \mu E(x) A(x) \quad (20)$$

де n_t - густина іонів, e - електронний заряд, а $A(x)$ - площа розряду. Підставивши в рівняння Пуассона $dE(x)/dx = 4\pi n_t e$, припускаючи, що площа розряду має зв'язок з x , заданий $A(x) = A x^m$, і проінтегрувавши, поле стає:

$$E(x) = 4\pi I [\ln(2d/r)/\mu V] x^{(2-m)} / (2-m)A \quad (21)$$

та інтегруванням поля від $x = 0$ до d , що дає напругу,

$$V = 4\pi I [\ln(2d/r)] d^{(3-m)} / (3-m)(2-m)A + V_c$$

Термін V_c з'являється тому, що $V = V_c$, коли струм дорівнює нулю.

Інвертуючи цей вираз, отримаємо шукане рівняння для струму:

$$I = \mu V(V - V_c)(3 - m)(2 - m)A / (4\pi d^{(3-m)} \ln(2d/r)) \quad (22b)$$

$$= K \mu V(V - V_c) / [d^{(3-m)} \ln(2d/r)] \quad (22c)$$

У рівнянні (22с) всі константи, крім μ , в одну константу K . Не дивно, що це рівняння схоже на рівняння (18). Одним з аспектів цього рівняння є те, що при побудові графіка I/V проти V , перехоплення на осі абсцис дає V_c . Це було зроблено з використанням даних, отриманих за допомогою підйомника коробки. Для цього експерименту дротяні емітери були замінені трьома емітерними електродами, кожен з яких складається з латунної смужки, до якої припаяно п'ять загострених штифтів, як показано на рисунку 4.1(а), разом з чотирма латунними колекторними електродами. Колекторні електроди вирівняні з потоком, щоб мінімізувати перешкоди, і тому фактично не є площиною заземлення як такою. Проте, оскільки всі вони мають потенціал заземлення, ефект повинен полягати у створенні площини, нормальної до потоку, на якій напруга дорівнює нулю. Були використані різні значення d , а струм і напруга записувалися в міру підвищення напруги. Результати показано на рисунку 5.1, де $I/V \times 10^9$ відкладено від напруги.

Суцільні лінії - це найменші квадрати, що відповідають даним для кожного значення d , показуючи, що в наведених діапазонах струм пропорційний $V(V - V_c)$. Видно, що критична напруга становить близько 5 кВ. Знайшовши нахили ліній і побудувавши логарифм нахилу проти логарифма d , було знайдено, що $K = 8,55 \times 10^{-11}$, а $(3 - m) = 1,625$. З цими значеннями, плюс $V_c = 5$ кВ, $r = (m)$. 2×10^{-4} і $\mu = 2.15 \times 10^{-4}$, I/V було розраховано для кожного значення d і показано на рисунку 5.1 у вигляді пунктирних ліній. Узгодження з даними є цілком обґрунтованим. Якщо рівняння (22с) підставити в рівняння (1), то видно, що рухливість іонів зникає. Таким чином, сила тяги залежить тільки від напруги і геометрії. Для заданої напруги і розміру зазору тягу можна збільшити, зменшивши критичну напругу. Цього можна досягти, зменшивши значення радіуса точки, r , або використовуючи змінну напругу (див. 19). Слід

зазначити, що точки з найвищою напругою для кожного зазору представляють найвищу напругу, для якої дані відповідають рівнянню (22с). Струм стає більшим за екстрапольовану пряму лінію для вищих напруг. Однак ця область знаходиться за межами області, де можна знайти вищі значення θ . Зауважте також, що Кобін (див. 9) стверджує, що V_c є меншим для позитивно заряджених випромінювачів, ніж для негативно заряджених випромінювачів. З цієї причини всі експерименти були проведені з позитивними випромінювачами.

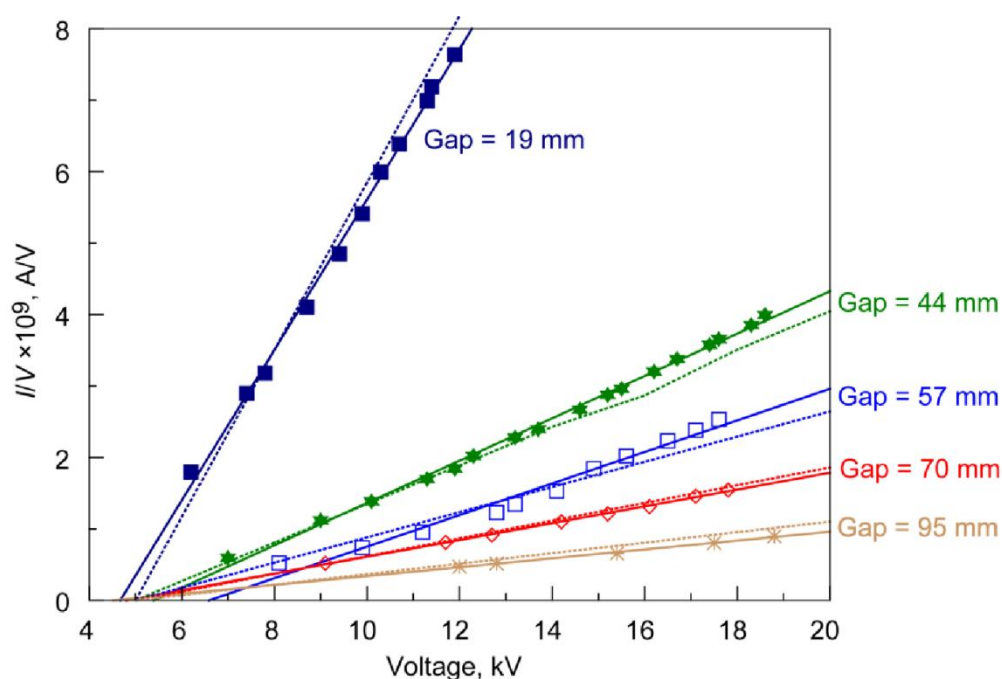


Рис. 5.1.-Графік залежності I/V від V для трьох позитивних емітерних електродів і чотирьох колекторних електродів. Кожен емітерний електрод має п'ять загострених вольфрамових наконечників.

Якщо рівняння (22с) використовується для обчислення струму за заданою напругою, то тягу можна обчислити з рівняння (17). Потужність задається добутком V та I , тому можна визначити θ . Це було зроблено для $\mu = 2,15 \times 10^{-4}$ (повітря) і $r = 2$, а отримані криві залежності θ від тяги для чотирьох різних розмірів зазору показано на рисунку 5.2. Зауважте, що це не загальна крива - значення струму застосовні лише до використовуваного підйомника (через значення K), але форма кривих повинна бути загальною. Вона показує, що θ є відносно нечутливим до розміру зазору при великих значеннях тяги, де θ відносно низьким. При малих значеннях тяги θ може

дорівнювати або навіть перевищувати 20 Н/кВт. У цій області розмір зазору є важливим, і тяга зростає зі збільшенням розміру зазору при постійному $\theta = 20$ Н/кВт.

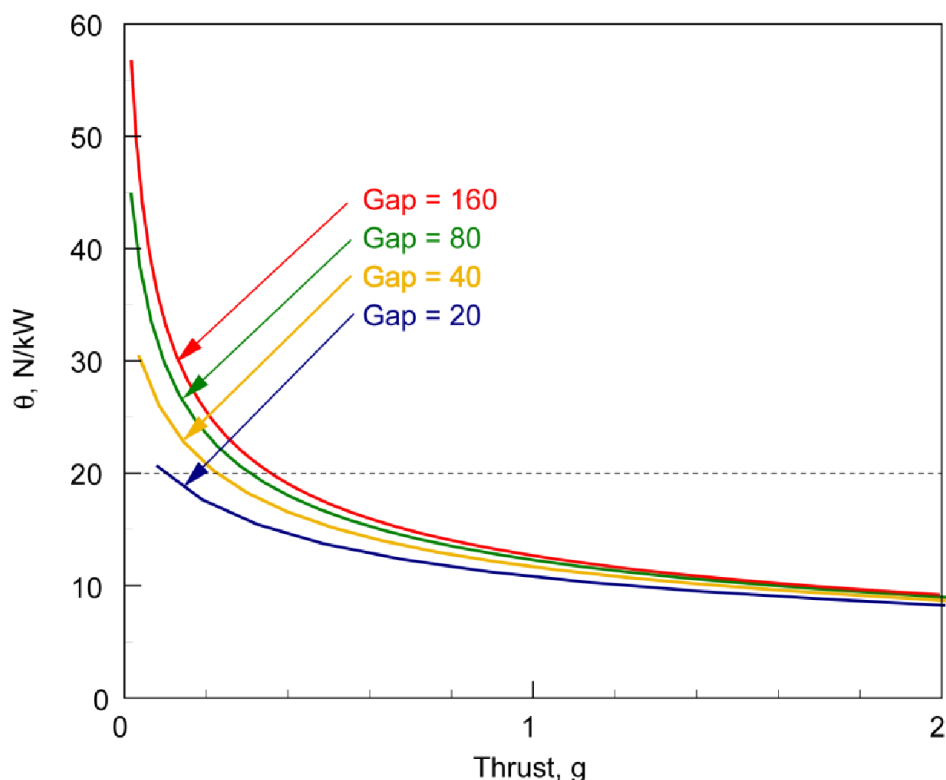


Рис. 5.2. залежність Θ від тяги, розрахована з використанням рівняння (22с) для струму і рівняння (17) для тяги для кожного з чотирьох розмірів зазору.

Щоб зрозуміти варіації розділення електродів, зазору і типу, для оцінки розподілу поля біля емітера було використано комерційно доступний код Максвелла (див. 20). Код Максвелла дозволяє вводити будь-яку бажану геометрію емітера і колектора і знаходить електростатичне поле для цієї компоновки з прикладеною напругою. Він не допускає жодного розряду між емітером і колектором. На практиці виникла проблема, оскільки зазори між електродами становлять близько 50 мм, а високе поле навколо емітера існує лише в області порядку 2×10^{-3} мм. Це вимагало дуже дрібної сітки біля емітера і грубої сітки в основному зазорі, щоб обмежити кількість розрахованих точок. Навіть при такому розташуванні результати мали тенденцію до нестабільності, і, за винятком результатів, наведених нижче, не наводяться.

В експерименті, про який не згадувалося вище, в підйомнику коробки використовували три електроди-випромінювачі, виготовлені з серії лез для гоління, розміщених впритул один до одного. Мета полягала в тому, щоб побачити, чи буде гострий двовимірний електрод працювати краще, ніж дроти, оскільки радіус гострого краю буде набагато меншим, ніж у дроту. Крім того, оскільки ефективна площа випромінювання була б більшою, ніж кілька штифтів, результуючий струм міг би бути більшим, ніж у штифтів, що давало б більшу тягу. Насправді ніякої тяги не спостерігалось, і було помічено, що розряд був обмежений кінцями електродів, де спостерігалось блакитне світіння. Очевидно, що поле було сконцентроване в зовнішньому куті. Для дослідження цього було використано код Максвелла, і результат, показаний на рисунку 6.1, це підтверджує. У розрахунках на рисунку 6.1 лезо бритви відокремлене від колектора на 50 мм, і до нього прикладена напруга 25 кВ. На рисунку 6.1 показана лише невелика частина кінця леза бритви, що відповідає довжині близько 0,25 мм. Лезо бритви показано сірим кольором.

Показано контури електричного поля, колір використовується для позначення величини поля. На відстані від леза напруженість поля становить 5×10^5 В/м, що позначено синім кольором. Зауважте, що прикладене поле, тобто V/d , дорівнює 5×10^5 В/м. Однак на кінчику леза є дуже концентрована область поля, що досягає 7×10^7 В/м: ця область показана червоним кольором. Тому не дивно, що будь-який розряд буде обмежений кінцем леза.

Ще один розрахунок було зроблено для електричного поля на стику двох лез бритви, припускаючи, що леза розділені невеликим зазором 5×10^{-2} мм. Результат показано на рисунку 6.2, де леза знову стають сірими. Це свідчить про те, що в цьому випадку поле не має концентрації на перетинах. Таким чином, розміщення декількох лез в одну лінію дасть високу концентрацію поля лише на зовнішніх краях кінцевих лез, де і з'явиться розряд. Це узгоджується з тим, що спостерігалось експериментально.

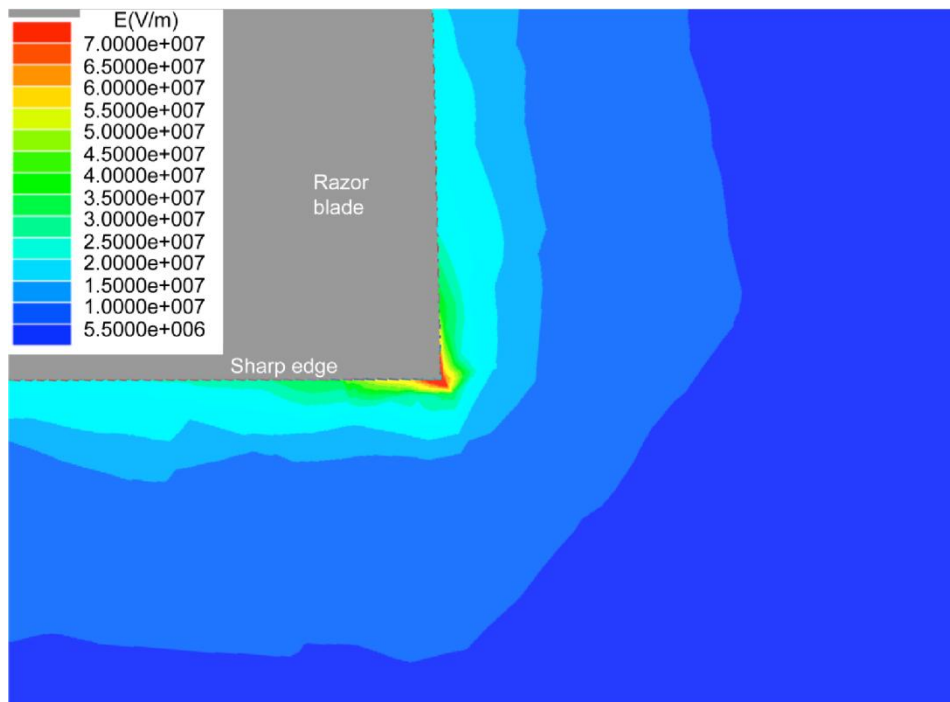


Рис. 6.1. -Розподіл електричного поля в кінці а ряду бритвених лез. Довжина леза, показаного на рис, становить приблизно 0,25 мм.

Отже, якщо використовувати двовимірний гострий електрод, необхідно знайти спосіб усунення концентрації поля на зовнішніх кінцях. Це схоже на проблему створення однорідного поля між двома плоскими електродами для тестування пробою газу як функції електричного поля. Рішенням для плоских електродів є електрод Роговського (рис. 9), в якому форма краю пластини призводить до зменшення поля при великих радіусах пластини. Електрод Роговського має досить складну форму, і з а м і с т ь т о г о , щ о б спробувати це, було вирішено обчислити поле, яке дає простий еліпс на кінці леза бритви. Обраний еліпс мав велику піввісь 18,75 мм і малу піввісь 6,25 мм. Були використані ті ж самі значення поля і зазору, що й вище, і результат, показаний на рисунку 6.3, де найвище поле позначено червоним кольором, а лезо - сірим, показує, що поле звужується від центральної частини леза до кінця леза. Однак максимальне поле становить лише близько 6×10^6 В/м, що набагато менше, ніж на квадратному кінці. Тим не менш, ця геометрія, здається, вирішує проблему концентрації поля на кінці електрода, і її було перевірено експериментально, як буде описано нижче.

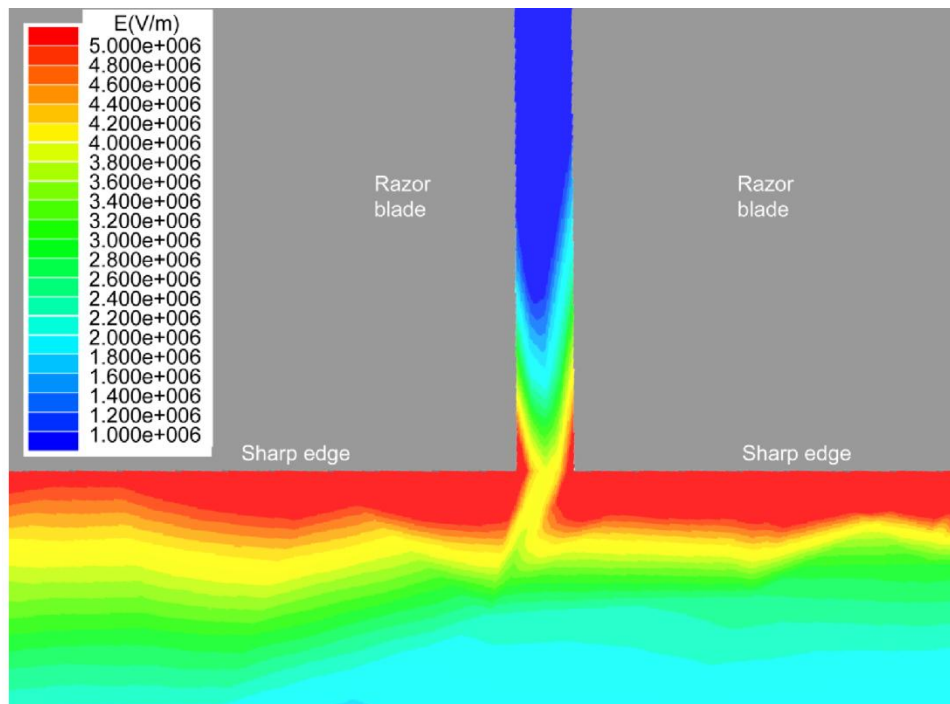


Рис. 6.2. -Електричне поле на стику двох бритвених лез. Зазор між двома лопатями становить 0,051 мм.

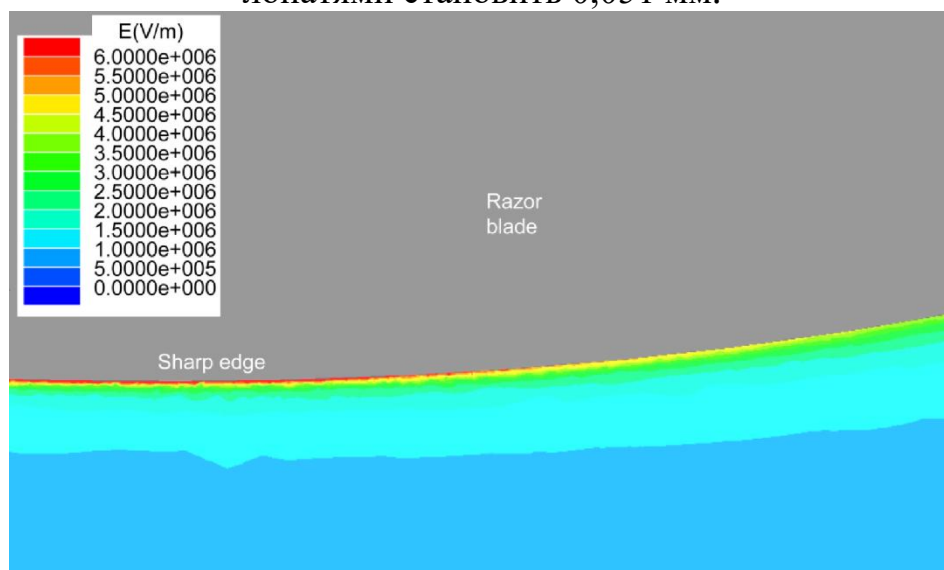


Рис. 6.3. -Розподіл електричного поля на лезі бритви з кінцем еліптичної форми.

Описані вище експерименти показали, що для отримання хороших значень відношення тяги до потужності потрібні низькі поля, що призводить до низьких значень тяги. При використанні невеликого підйомника для коробок рівень тяги при низьких полях становив десяті частки грама. Роздільна здатність балансу становила 0,1 г, і тому співвідношення сигнал/шум було не

дуже хорошим. Тому, щоб отримати більші рівні тяги, було виготовлено більшу коробку з торцевими частинами з пінопласту, розділеними боковими частинами з пінопласту, довжиною 457 або 914 мм і глибиною 75 мм. У першій версії електроди були закріплені в отворах або прорізах в торцевих частинах. В остаточному варіанті була виготовлена рамка з лексану (SABIC Innovative Plastics), до якої були міцно прикріплені заземлюючі електроди. Рама мала розміри 913 на 335 мм завширшки і входила всередину торцевих частин з досить близькими допусками. Її можна було переміщати по вертикалі, щоб можна було змінювати зазори між емітером і колектором. Бічні і торцеві частини були збільшені у висоту до 170 мм. Фотографію установки показано на рисунку 7.1.

Використовувалося до трьох емітерних електродів, кожен з яких виготовлявся так само, як і електрод на рис. 4.1(а), з мідних смужок товщиною 0,4 мм з припаяними штифтами. Емітерні електроди були довжиною 490 або 950 мм, з вісімнадцятьма контактами для меншого електрода або тридцятьма чотирма контактами для більшого електрода, з відстанню між контактами 25,4 мм. Електроди випромінювачів вставлялися в точно оброблені пази в пластинах з лексану, прикріплених до торцевих пластин, і були електрично з'єднані латунним стрижнем, що проходив через мідні смужки. Лексанові прокладки між рамою колектора і пластинами емітерних електродів дозволили точно налаштувати зазори. Колекторні електроди були виготовлені з обтічної алюмінієвої трубки, придбаної в магазині для хобі, з відношенням товщини до хорди 0,5. Вони були відрізані до відповідної довжини і забезпечені гвинтом на кожному кінці, який виступав через торцеві частини і був прикріплений до мідної шини, з'єднаної з землею. На рис. 7.2 зображено вид зверху на установку, якщо дивитися вниз, і показано електроди емітера внизу, а електроди колектора - вгорі. Шину заземлення також можна побачити в нижній правій частині рисунка 7.2.

З'єднання шини заземлення з землею та високовольтного стрижня з високовольтним джерелом живлення було виконано дуже тонким дротом, щоб не створювати жодного навантаження на ваги. Поперечний переріз установки показано на рисунку 7.3. Вага установки становила 1 477 г.

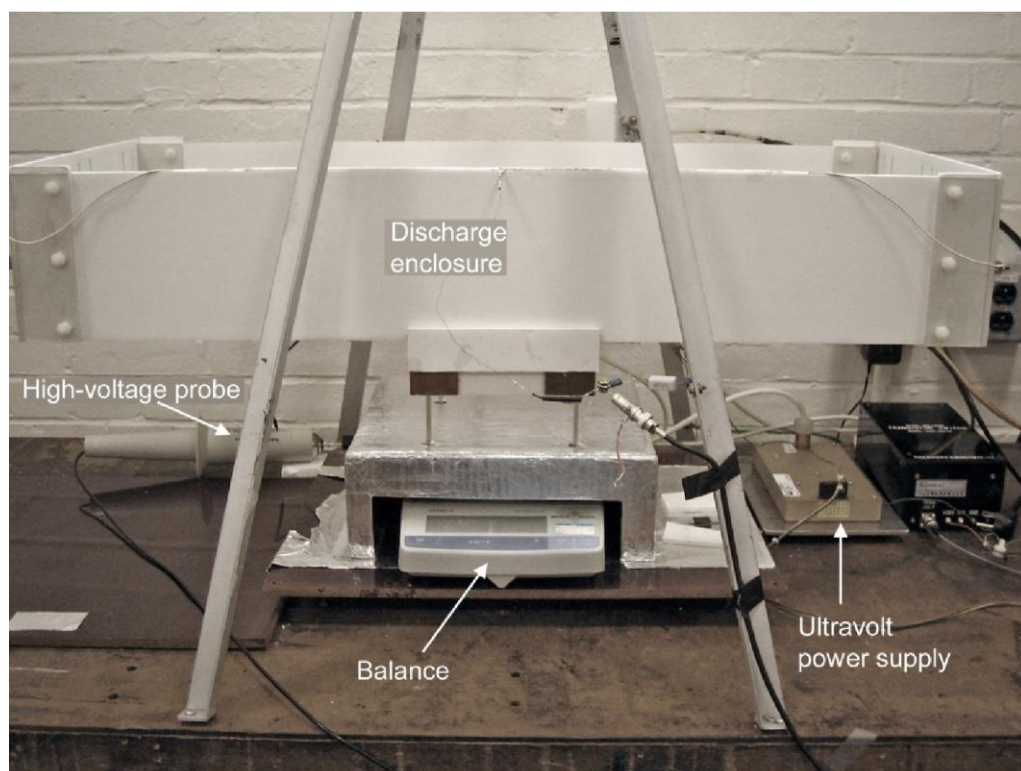


Рис. 7.1.-Фотографія більшого розрядного апарата. Баланс можна побачити під екраном, покритим алюмінієвою фольгою.

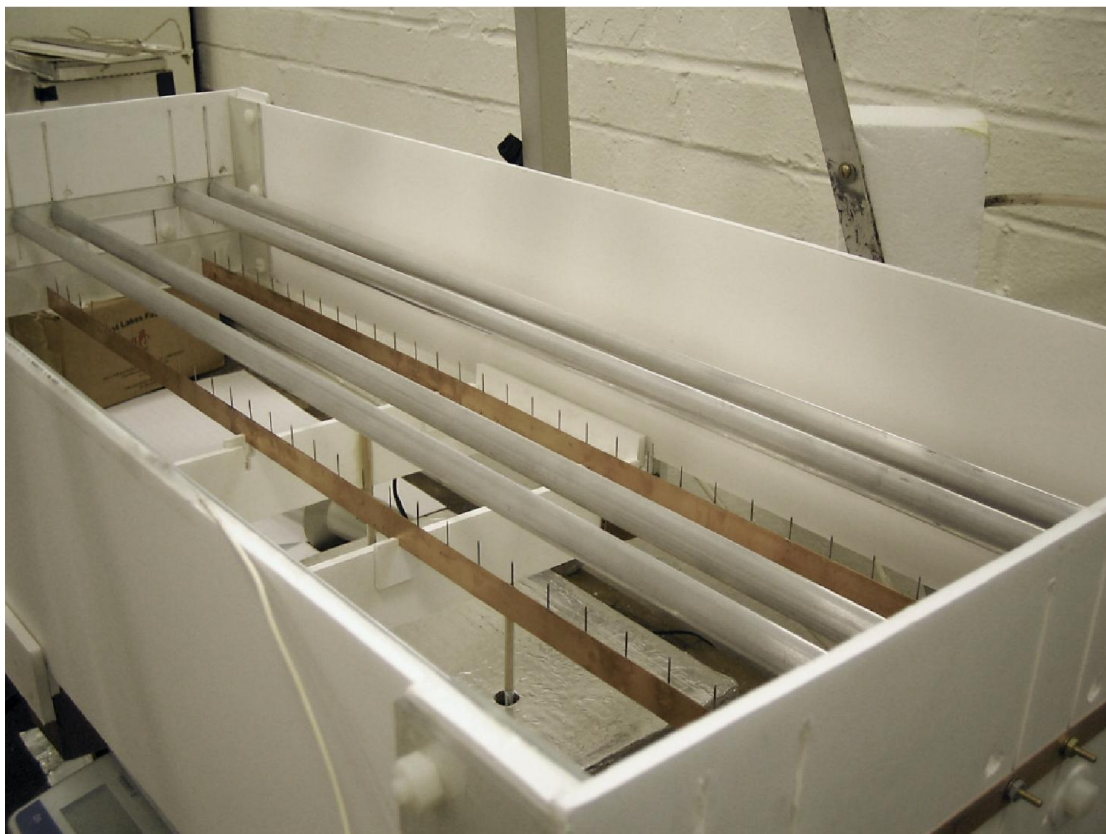


Рис. 7.2.-Фотографія, що дивиться вниз у розвантажувальний апарат. Алюмінієві стрижні є колекторними електродами (по два на кожен емітер), а мідні смужки з прикріпленими до них штифтами - емітерними електродами.

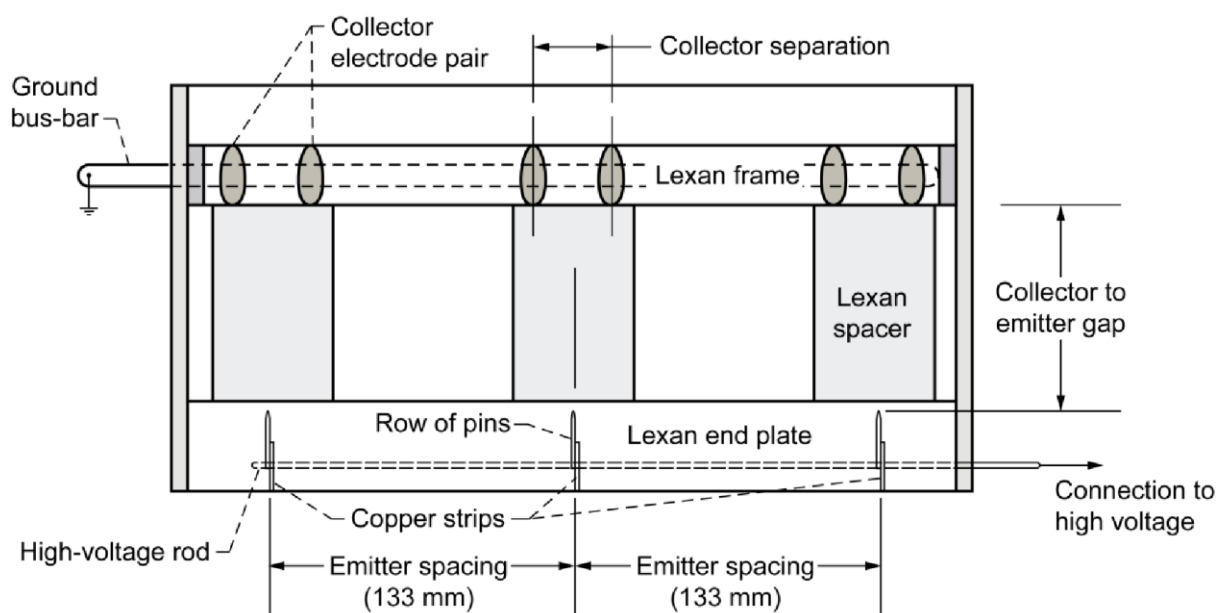


Рис. 7.3.—Схема поперечного сечення апарата коронного розряду.

Для неімпульсних експериментів використовувався блок живлення Glassman EQ30P40 для забезпечення високої напруги. Для вимірювання струму, замість використання вбудованого вимірювача струму, було використано з'єднання,

надане Glassman, яке дає напругу, пропорційну струму. Цей сигнал напруги зчитувався на цифровому вольтметрі Agilent 34401A; сигнал був відкалібрований за допомогою прецизійного резистора. Це дозволило підвищити точність зчитування значень струму. Для вимірювання сили тяги стенд було встановлено на опорній стійці, яка мала чотири вертикальні стійки, що проходили через екран над вагами і спиралися на вагову пластину. Цей екран був загорнутий в алюмінієву фольгу, яка була з'єднана з електричним заземленням, тому ваги фактично знаходилися в клітці Фарадея. Це було зроблено для того, щоб звести до мінімуму будь-які електричні наведення від розряду. Також позитивно заряджений електрод-емітер знаходився в нижній частині установки, так що іонний вітер був спрямований вгору, а тяга проявлялася у вигляді збільшення показань ваг. Це було зроблено тому, що попередні експерименти з іонним вітром, спрямованим на ваги, показували хибні показання. Спочатку ми використовували ті ж самі ваги Ohaus, що й вище. Ці ваги мають максимальне навантаження 400 г, що менше за вагу бурової установки. Для того, щоб привести показання в діапазон ваг, над буровою установкою був встановлений кронштейн, що спирався на лезо ножа, прикріплений до бурової установки одним кінцем, і з противагою на іншому кінці. Це було не зовсім задовільно, і пізніше вимірювання проводили за допомогою цифрових ваг Mettler моделі PB5001-S з максимальним навантаженням 5 кг, але все одно з роздільною здатністю 0,1 г.

Було вирішено повторити експерименти з різними типами електродів-випромінювачів, і вимірювання тяги і струму проводилися при різних рівнях напруги. Використовувалися такі випромінювачі: (1) електрод довжиною 450 мм з вісімнадцятьма контактами, (2) дріт довжиною 450 мм, (3) електрод довжиною 900 мм, виготовлений з 23 бритвених лез, розташованих поруч, зі зрізаними до еліптичної форми кінцями, і (4) електрод довжиною 864 мм, виготовлений з цільного шматка нержавіючої сталі товщиною 1 мм з гострим,

як бритва, краєм (Jewel Blade Company, Шеффілд, Англія, артикул FP1), який також має еліптичні краї, як показано на рис. 7.4. Всі випробування проводилися при однаковому значенні зазору 48 мм.

Результати цього тесту наведено на рис. 7.5, де показано залежність θ тяги. Два випромінювачі у вигляді вістря ножа, хоча вони вдвічі довші за інші два випромінювачі, створювали меншу тягу при максимальній напрузі, а для лез бритви - також менші значення θ .

Jewel дійсно давало високі значення θ при низькій тязі, але, оскільки вони були отримані при дуже низьких значеннях тяги, вони, ймовірно, є неточними. Штифтовий електрод виявився кращим за дротовий, оскільки він дає значення θ більше 20 при досить точних значеннях тяги, тоді як дротовий електрод не дає таких значень. Виходячи з цього, подальші зусилля були зосереджені на штирьових емітерних електродах.

Існують припущення, що кілька колекторних електродів на один емітерний електрод можуть бути кращими, ніж один колектор. Наприклад, комерційно доступний циркулятор повітря "Ionic Breeze" використовує три заземлюючі електроди і два випромінюючі електроди. Стверджується, що електроди з великою площею заземлення є кращими, ніж електроди з малою площею заземлення (див. 7). Для перевірки цього було проведено два тести. У першому використовували один емітерний електрод з тридцятьма чотирма контактами і два колекторні електроди, рознесені на 44 мм. Зазор між емітером і колектором становив 25 мм, таке мале значення зазору було обрано для отримання хороших значень тяги. Використовувалися різні колекторні електроди з довжиною хорди с 6,4, 12,7 і 19 мм відповідно. Це була груба форма крила з однаковим відношенням товщини до довжини хорди, приблизно 0,5. Таким чином, збільшення довжини (хорди) також збільшувало товщину, тобто лобову площу. Результати, представлені у вигляді графіків залежності θ від T , наведені на рисунку 7.6. Ці тести показали, що, принаймні,

для значень θ близько 20, довший (і товстіший) колекторний електрод був кращим за коротший. Навіть більші електроди можуть бути бажаними.

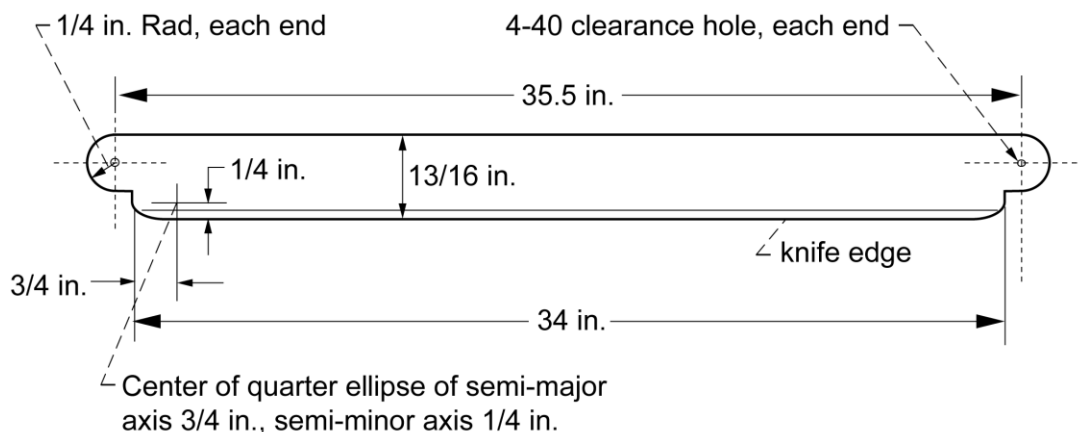


Рис. 7.4.-Креслення емітерного електрода зі смуги ювелірного різання (без накипу)

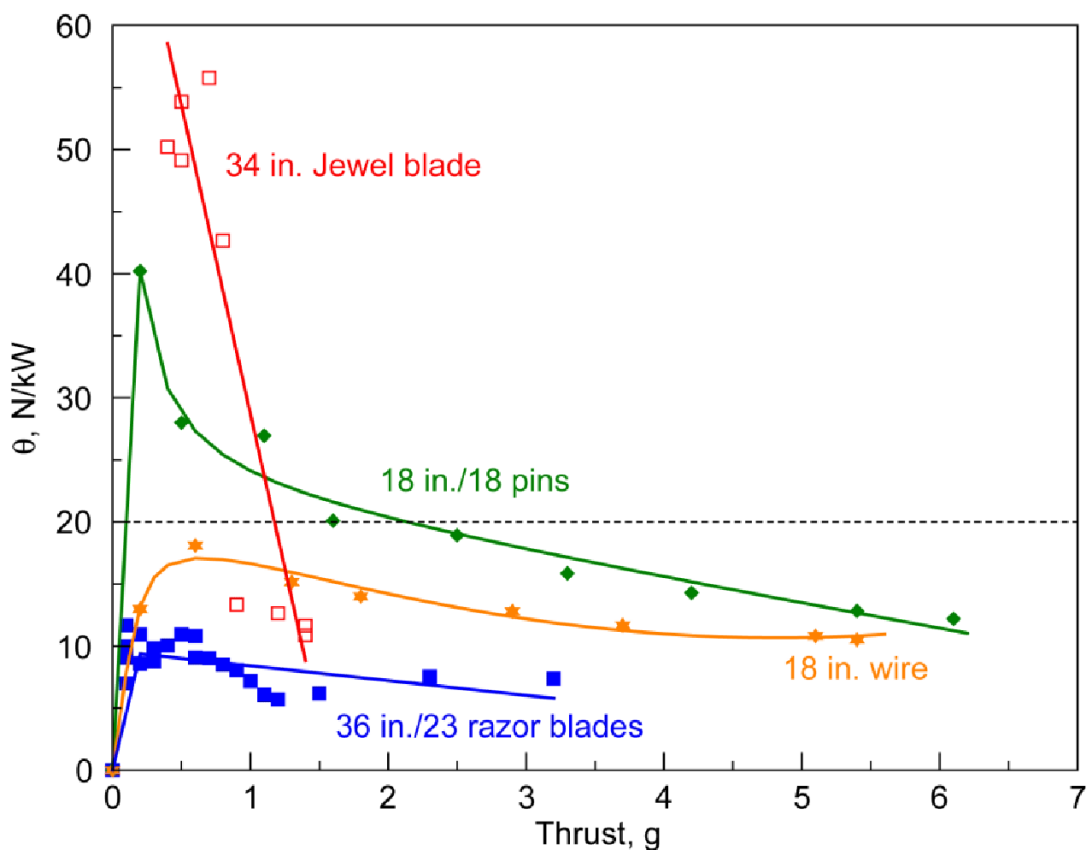


Рис. 7.5. - θ залежно від тяги для чотирьох різних конфігурацій емітерних електродів.

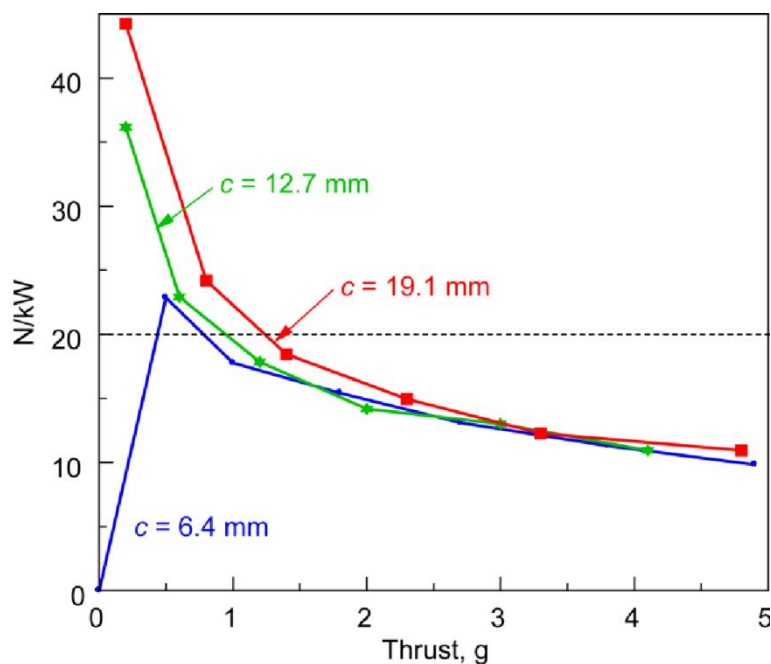


Рис. 7.6. N/kW залежно від тяги для трьох різних довжин колекторних хорд, c . Використовували один емітерний електрод із тридцятьма чотирма штифтами, розташованими на відстані 25 мм один від одного, і двома колекторними електродами. Зазор становив 25 мм. Відстань між двома колекторними електродами становила 44 мм.

У другому тесті, використовуючи тільки 19-міліметрові хордові колекторні електроди, оскільки вони виявилися кращими в першому тесті, і знову використовуючи зазор 25 мм, відстань між колекторними електродами варіювалася від нуля, тобто один електрод, до максимального значення 44 мм. Показання були зроблені при чотирьох різних напругах. Результати, побудовані як залежність T від відстані між колекторами, наведені на рисунку 7.7, і показують, що існує оптимальна відстань близько 33 мм, яка не залежить від прикладеної напруги. Слід зазначити, що це оптимальне розділення було виміряно лише при зазорі 25 мм і може змінюватися залежно від розміру зазору. При використанні декількох колекторів відстань між емітером і колектором, d , визначається, як показано на рис. 7.3, тобто як відстань між кінчиками штифтів і горизонтальною лінією, дотичною до переднього краю колекторних пластин.

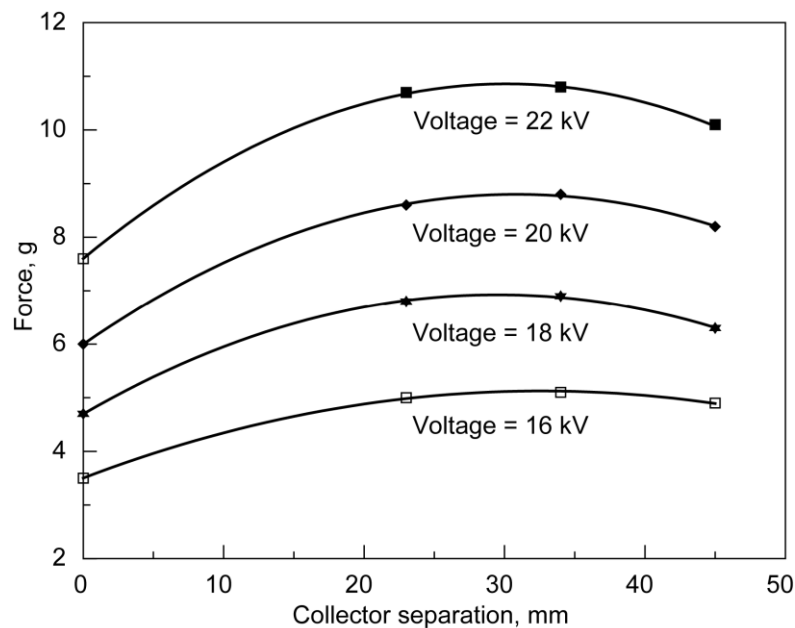


Рис. 7.7.-Ефект зміни відстані між двома колекторними електродами порівняно з одним колекторним електродом (тобто відстань = нулю).

Виходячи з вищезазначених результатів, в остаточній версії випробувального стенду було використано пару хордових колекторних електродів довжиною 19 мм, розділених 33 мм, для кожного емітерного електрода. Для подальшого збільшення тяги було використано три емітерні електроди, розділені 133 мм. Як зазначено вище, три пари колекторних електродів були прикріплені до пластин Lexan на кожному кінці, утворюючи каркас колектора. Сила тяги вимірювалася за допомогою ваг Меттлера. Таке розташування було використано для вимірювання сили тяги і струму при різних напругах, для кожного з дев'яти різних налаштувань зазору.

Результати, представлені у вигляді графіків залежності θ від T , наведені на рис. 7.8 у вигляді символів разом з підгонкою, зробленою за допомогою статистичної програми. Підгонки загалом мали такий вигляд:

$$\theta = a + b/T + c/T^2 + d \times T \quad (23)$$

хоча для зазору 105 мм було виявлено, що $c = 0$, а для зазору 75 мм потрібно було додати додатковий член, $e \times T^2$. Була надія, що, побудувавши графік залежності кожної з констант від зазору і підігнавши результат, можна буде

знайти модель, яку можна буде використати для екстраполяції результатів на більші зазори. На жаль, хоча індивідуальні залежності θ від T були дуже хорошими, константи не демонстрували достатньої регулярності, щоб цю процедуру можна було використовувати з будь-якою впевненістю.

Лінії постійної напруги для 20, 25 і 30 кВ також нанесені на перехресні графіки. Видно, що тенденція така ж, як і для розрахункових результатів на рис. 5.2, а саме, що при постійному значенні θ збільшується зі збільшенням розміру зазору. Досягнення цієї вищої тяги вимагає вищої напруги. При найвищій доступній напрузі, 30 кВ, розмір зазору 105 мм дає значення θ , дорівнює 20 Н/кВт, з силою тяги 13,1 г. Зауважте, що при менших зазорах розрядні дуги виникають при напрузі нижче 30 кВ, так що це є обмеженням на те, яку напругу можна прикласти до даного зазору. Для заданого бажаного значення θ використання напруги трохи нижче значення дуги і відповідного зазору дасть максимальну тягу, доступну на цій установці. Цей момент буде розглянуто нижче.

На рисунку 7.9 наведено криві залежності струму від напруги для кожного з дев'яти проміжків, використаних для отримання даних на рисунку 7.8. Символами позначено точки даних, а лініями - статистично підігнані криві. Підгонка мала такий вигляд:

$$I = a + b * V + c * V^2 + d * V^3 + e * V^4 \quad (24)$$

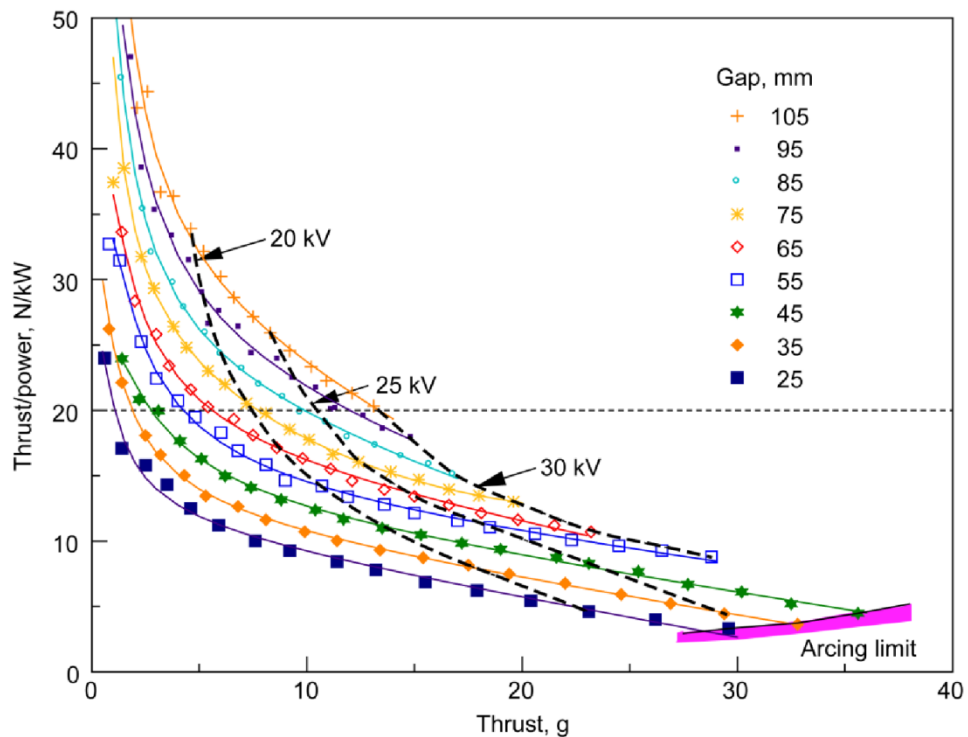


Рис. 7.8.-Тяга, поділена на потужність і тягу залежно від розміру зазору та напруги для великої установки з трьома штирьовими емітерними електродами довжиною 450 мм, як показано на рис. 7.2.

Значення констант наведено в Таблиці 3, в якій вказані значення струму в міліамперах, коли напруга на вході подається в кіловольтах.

Видно, що дані відповідають двом різним моделям: одна для зазорів 45 мм і менше, а інша - для зазорів понад 45 мм. Жодна з цих моделей не узгоджується з рівнянням (22), яке має лише лінійний член плюс квадратичний член і не містить константи.

Раніше було запропоновано, що імпульсне збудження може дати кращі результати, ніж збудження постійним струмом. Дійсно, Наудін (див. 15) стверджував, що він досягнув зменшення потужності в 3 рази для створення такої ж тяги на частоті 100 Гц, як і за допомогою прямого збудження. Нижчі частоти давали менше покращення. Одним з можливих чинників цього покращення є зменшення напруги_c при імпульсному збудженні (див. 19). Якщо бути точним, це стосується напруги змінного струму, як з позитивним, так і з негативним напівперіодом. Хмара іонів, що залишилася від одного напівперіоду, притягується назад до емітера при зміні напруги. Це збільшує

поле на поверхні емітера, так що емісія може початися при нижчій напрузі, ніж у стаціонарному випадку. Цей ефект буде більш важливим при низьких напругах, ніж при високих. У випадку напруги, яка пульсує лише позитивно або негативно, існує критична довжина імпульсу, за якої пульсація повинна призвести до зміни.

Таблиці 3 значення констант у рівнянні (16), які дають струм як функцію напруги для різних зазорів

d , мм	a	b	c	d	e
25	2.9552	-1.1141	0.1489	- 0.00821 4	0.000174 5
35	3.9561	-1.2318	0.1365	- 0.00627 0	0.000108 0
45	4.0493	-1.0420	0.0961 9	- 0.00369 8	0.000053 14
55	-0.1460	0.0139 3	----- -	0.00002 927	-----
65	-0.1418	0.0122 3	-----	0.00001 786	-----
75	-0.0978	0.0081 5	-----	0.00001 285	-----
85	-0.1108	0.0081 7	-----	0.00000 849	-----
95	-0.0977	0.0075 1	-----	0.00000 363	-----
105	-0.0553	0.0037 4	-----	0.00000 566	-----

-

Якщо імпульс довгий, іони можуть повністю перетнути проміжок, і ситуація мало чим відрізняється від постійної напруги. Однак при певній тривалості імпульсу іони більше не можуть перетнути проміжок під час імпульсу і залишаються в проміжку після нього. Цю критичну довжину імпульсу легко

обчислити. Хмара іонів рухається зі швидкістю $v_i = \mu E$, тому їй потрібен час t_c , щоб перетнути проміжок, d , де:

$$t_c = d / v_i = d / \mu E = d^2 / \mu \quad (25)$$

Для найменшого використовуваного зазору, а саме 25 мм, при збудженні 20 кВ, $t_c = 0,16$ мс, а для найбільшого використовуваного зазору, 105 мм, при збудженні 25 кВ, $t_c = 2,7$ мс. Якщо імпульс повторюється після затримки такої ж величини, то ці часи відповідають 3 кГц і 200 Гц відповідно. Що станеться, коли іонна хмара залишиться в проміжку, не зрозуміло, оскільки після зняття поля на неї не діятиме ніяка сила.

Було вирішено провести експерименти, щоб спробувати дослідити ефект імпульсного збудження. Зокрема, була мотивація спробувати концепцію з лазерної технології, яка називається подвійним розрядом (посилання 22). Ця концепція полягає в тому, що оптимальне електричне поле для досягнення мети (тобто лазерної дії або створення тяги) може сильно відрізнитися від того, яке необхідне для створення значного ступеня іонізації. Отже, для генерації електронів використовується короткий імпульс високої напруги, а потім протягом більш тривалого часу застосовується більш низьке поле, оптимальне для даного застосування. Вище було показано, що для коронного розряду низьке поле є оптимальним для ефективного створення тяги, але призводить до низької тяги через низьку концентрацію електронів. Таким чином, техніка подвійного розряду може бути корисною для створення тяги в коронному розряді.

Початкові спроби створити прямокутний імпульс напруги були зроблені за допомогою високовольтного джерела живлення Ultravolt 25C24 P125. Цей блок живлення дозволяє керувати вихідною напругою за допомогою сигналу керування від 0 до 5 В. Тоді вважалося, що при застосуванні повторюваного прямокутного сигналу керування вихідна напруга, яка подається на розряд,

також буде прямокутною. Це виявилось не так; пристрій мав вихідну ємність, яка в поєднанні з дуже великим імпедансом розряду (зазвичай понад один гігаом) призводила до часу спаду в десятки мілісекунд, що означало, що напруга не сильно спадала між імпульсами. На частоті 100 Гц напруга, що прикладалася, мало чим відрізнялася від постійної напруги, і збільшення θ не спостерігалось.

На цьому етапі для цих експериментів був доступний високовольтний перемикач. Перемикач був імпульсним.

Voltage Engineering Co. Ltd. Високовольтний транзисторний вимикач, модель HVS-36K20. Цей пристрій витримує напругу 36 кВ, доки не буде подано керуючий сигнал 5 В від зовнішнього тригерного генератора, коли перемикач електронно розмикається. У відкритому стані вимикач має імпеданс 120 . Для роботи пристрою потрібна зовнішня напруга постійного струму 24 В, яка забезпечується блоком живлення постійного струму Tektronix PS280. Однак високовольтний перемикач має робочий цикл, який обмежений до 0,01 або менше. Таким чином, при частоті 100 Гц максимальна довжина імпульсу становить лише 100 . Таким чином, цей імпульс виявився недостатньою тривалістю, щоб забезпечити єдине збудження, але виявився придатним для високовольтного імпульсу подвійного розряду. Схематично пристрій показано на рисунку 8.1.

Високовольтне джерело живлення Glassman EQ30P40 використовувалося для забезпечення високовольтного імпульсу через високовольтний транзисторний перемикач. Низьку напругу постійного струму забезпечував блок живлення Ultravolt з постійною напругою на вході керування. Блокувальні діоди були встановлені таким чином, щоб два джерела живлення не вмикалися один в одного

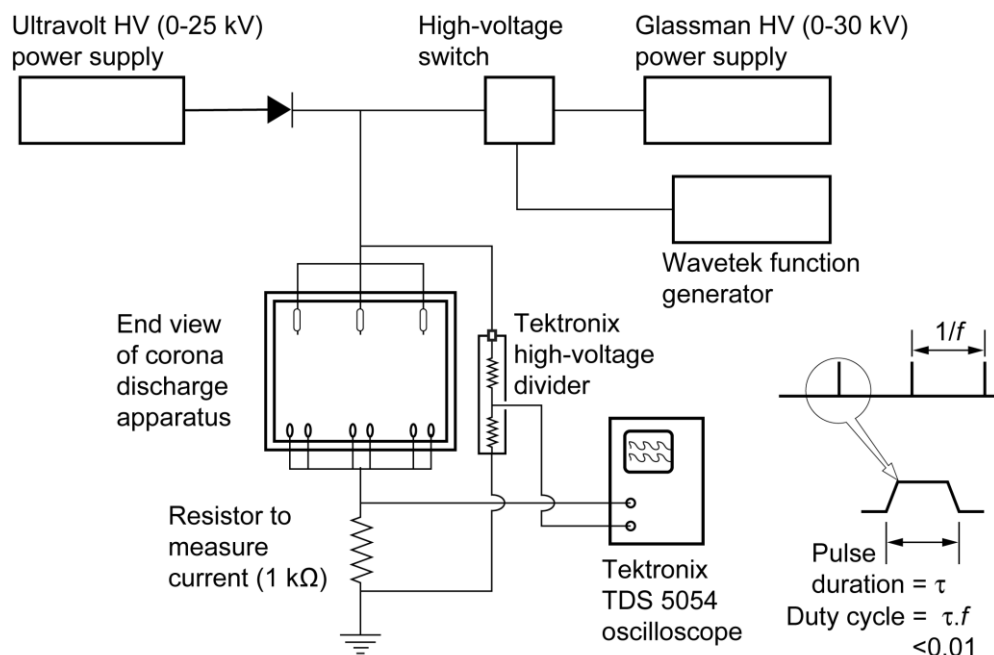


Рис. 8.1.-Принципова схема пристрою для живлення коронного розряду імпульсною і постійною напругою.

Було проведено експеримент з метою оцінки оптимальної тривалості імпульсу. Для цього експерименту джерело живлення Ultravolt було встановлено на 10 кВ, а джерело живлення Glassman - на 20 кВ. Генератор сигналів Wavetek Model 166 забезпечував 5 В керуючого сигналу на високовольтний перемикач. Частоту, f , і тривалість, τ , цього сигналу можна було встановлювати незалежно. Розрядний стенд мав версію, описану в розділі 7.4, з зазором 35 мм. Силу тяги вимірювали як функцію частоти, результат показано на рисунку 8.2. Для тривалості імпульсу 10 максимальна частота становила 1 кГц через обмеження робочого циклу.

Результати показано чорними точками і з'єднувальною лінією на рисунку 8.2. Видно, що при найнижчій частоті тяга дорівнює значенню постійного струму для збудження 10 кВ, іншими словами, імпульси нічого не додають до тяги, яка повністю походить від збудження постійним струмом. Зі збільшенням частоти імпульсів тяга також монотонно зростає, поки не буде досягнуто максимального значення частоти 1 кГц. Далі цей експеримент було повторено без постійної напруги збудження. Результатом є червоні точки і з'єднувальна лінія на рисунку 8.2. На частоті 30 Гц тяга дорівнює нулю, але вище 300 Гц

вона ідентична даним зі зміщенням 10 кВ. Таким чином, вище 300 Гц зміщення постійного струму не робить ніякого внеску.

Перехід до імпульсу тривалістю 1 , без постійної напруги зсуву, дав сині точки і з'єднувальну лінію на рисунку 8.2. Починаючи зі 100 Гц і до 1 кГц ці дані перекривають дані для імпульсу тривалістю 10 . Однак ця крива продовжується до 30 кГц. Для частот 5 кГц і вище тяга дорівнювала тязі для збудження постійним струмом 20 кВ. Таким чином, на високих частотах імпульси здаються еквівалентними збудженню постійним струмом. Експеримент було повторено для імпульсів тривалістю 100 нс і 40 нс - найкоротшого імпульсу, який може генерувати генератор сигналів Wavetek. Результати - помаранчеві та зелені дані відповідно. Ці імпульси давали меншу тягу, ніж імпульс тривалістю 1 мкс.

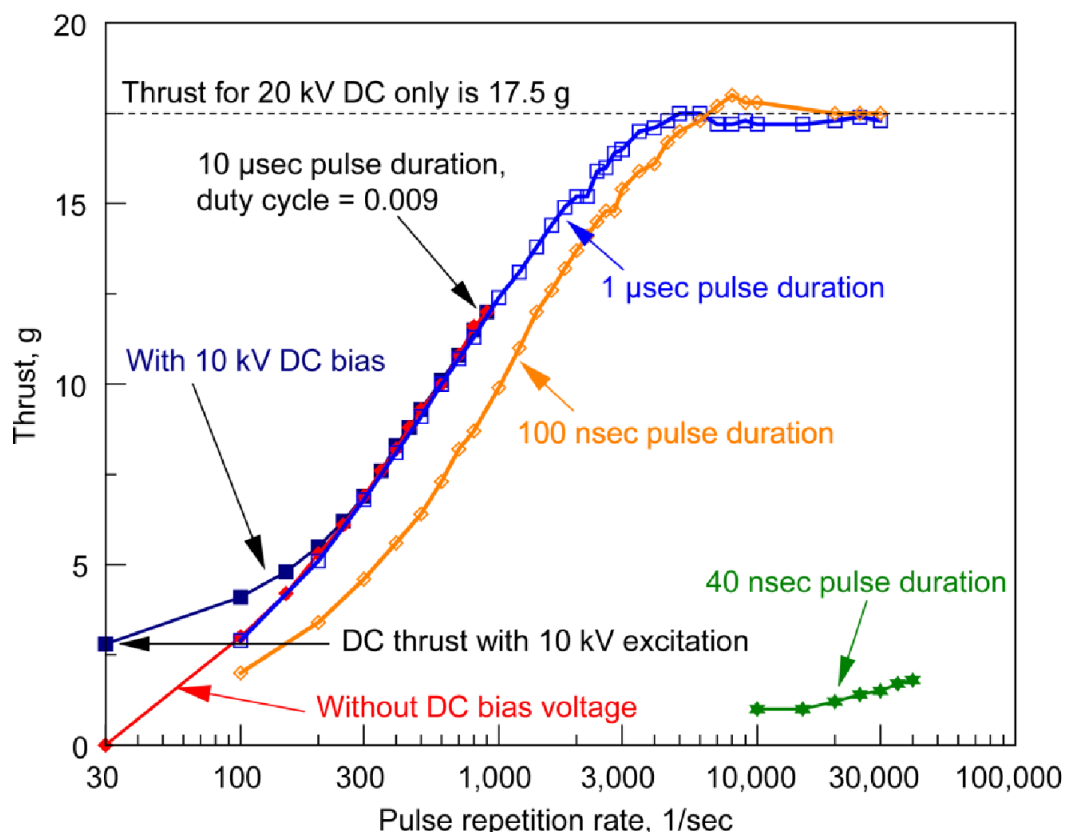


Рис. 8.2. -Вплив зміни тривалості та частоти імпульсів на спостережувану тягу. Зазор становить 35 мм, тривалість імпульсів - 10, 1, 0,1, 0,04 мкс, а імпульсна напруга - 20 кВ.

Виходячи з цих експериментів, здається, що імпульс тривалістю 1 є оптимальним. Він дає таку ж тягу, як і імпульс тривалістю 10 , але може переходити на вищі частоти (через обмеження робочого циклу високовольтного перемикача). Однак він дає більшу тягу, ніж коротші імпульси. Виходячи з цього висновку, для всіх подальших експериментів тривалість імпульсу була встановлена на рівні 1 .

Очевидно, що для визначення θ , також тяга. Для імпульсного збудження потрібні миттєві напруга і струм, добуток яких дасть миттєву потужність, яку можна усереднити за один або кілька повних циклів, щоб отримати середню потужність. Струм вимірювався шляхом вставки резистора 1 в лінію зворотного заземлення і відображення напруги на незаземленому кінці на цифровому люмінофорному осцилографі Tektronix TDS 5054, як показано на рисунку 8.1. Напругу вимірювали за допомогою високовольтного дільника Tektronix P6015A, який має частотну характеристику 75 МГц і опір 100 , приєднаного до високовольтної сторони розряду. Розрядний проміжок знову становив 35 мм. Деякі осцилограми показано на рисунку 8.3(а) для частоти 200 Гц і на рисунку 8.3(б) для частоти 1 кГц, з використанням лише імпульсного збудження, тобто без зсуву по постійному струму, з джерелом живлення Глассмана, встановленим на 20 кВ. Зрозуміло, що напруга і струм тривають набагато довше, ніж 1 мкс часу ввімкнення високовольтного перемикача. Дійсно, на частоті 1 кГц напруга майже не змінюється, тобто еквівалентна постійному струму. Це свідчить про те, що або розряд, або високовольтний перемикач мають значну ємність.

Після цих випробувань зазор було зменшено до 55 мм, а напругу джерела живлення Глассмана підвищено до 30 кВ, щоб створити більшу тягу в області, де θ може бути вищим. Як зазначено вище, струм і напруга реєструвалися на цифровому осцилографі. Результати струму і напруги зберігалися, а потім переносилися у файл Microsoft Excel (Microsoft Corporation) на комп'ютері.

При кожному зчитуванні розраховували потужність шляхом перемноження напруги і струму, і знаходили середнє значення за цілу кількість циклів.

Значення θ з подальшим діленням тяги на середню потужність. Це було повторено для кількох значень частоти між 200 Гц і 1,8 кГц. Результатом є синя лінія, зображена на рисунку 8.4, як залежність θ від сили тяги. Також червоною лінією показано значення, отримані при тому ж зазорі в тестах на постійному струмі (рис. 7.8).

Для імпульсного збудження на цьому рисунку видно, що θ лінійно зменшується зі збільшенням сили тяги, причому значення $\theta = 20$ Н/кВт досягається на частоті 800 Гц з силою тяги 18 g. Це значне покращення порівняно з результатом постійного струму при тому ж зазорі $\theta = 20$ Н/кВт за менш ніж 5 g тяги.

Однак є певні сумніви щодо достовірності цих результатів. Дивлячись на осцилограму на рисунку 8.3(b), видно, що на осцилограмі струму присутній значний дзвін. Частково це пов'язано з наведенням від високовольтного вимикача. Це погіршується зі збільшенням частоти. Таким чином, показання струму в кращому випадку є невизначеними.

Альтернативний спосіб розрахунку потужності, що йде на розряд, полягає в оцінці зміни енергії на кожному циклі, припускаючи, що в ланцюзі дійсно є ємність. Якщо високовольтний вимикач має ємність C_{hvs} , а розрядний пристрій має ємність C , для загальної ємності $(C + C_{hvs})$, яка заряджається до напруги V_0 , коли вимикач замикається, і розряджається до напруги V_f безпосередньо перед розмиканням вимикача, то енергія, що протікає через вимикач за кожен цикл, дорівнює E :

$$E = 0.5(C + C_{hvs})(V_0^2 - V_f^2) \quad (26)$$

Якщо R_{total} - це опір, через який розсіюється енергія, що складається з опору коронного розряду

R , і опору високовольтного діляника R_{vd} , паралельно, тобто,

$$R_{\text{total}} = (1R_{vd} + 1/R)^{-1} \quad (27)$$

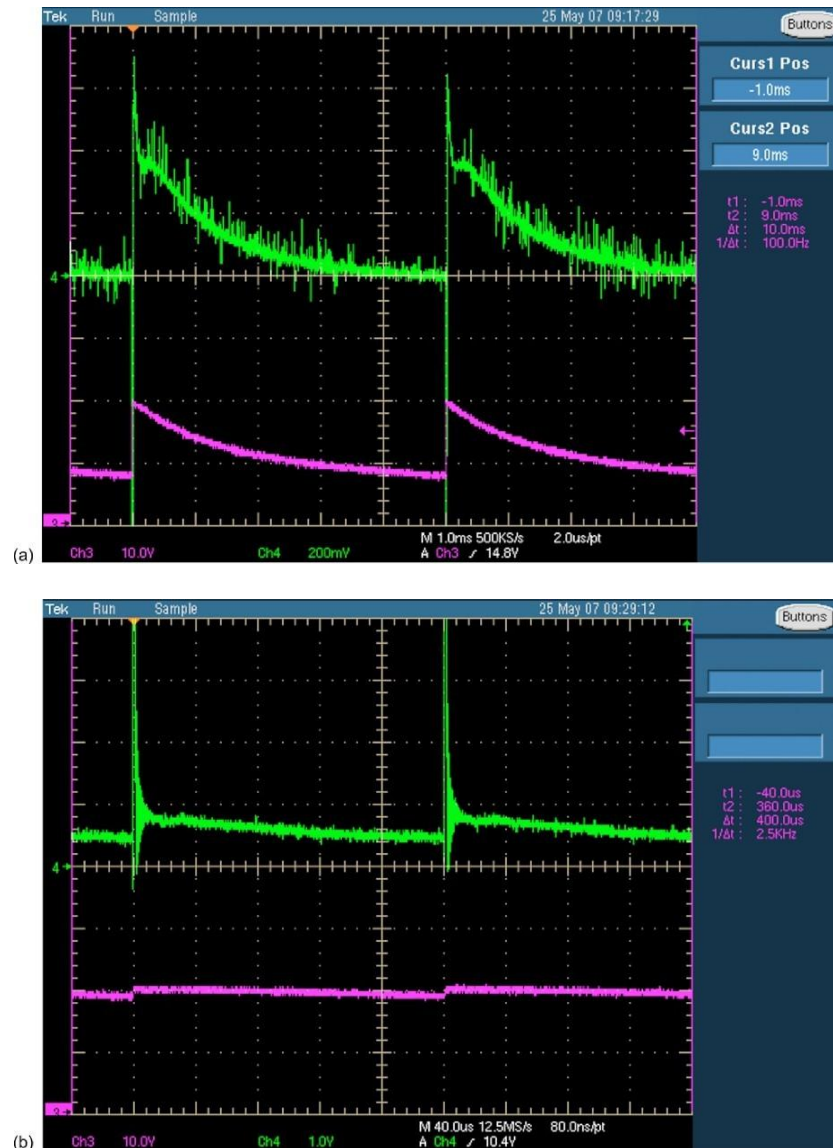


Рисунок 8.3 - Осцилограми залежності напруги і струму коронного розряду від часу. Нижня крива - напруга з чутливістю 10 кВ/поділ, а верхня крива - струм з чутливістю (а) 0,2 мА/поділ на частоті 200 Гц і (б) 1 мА/поділ на частоті 1 кГц.

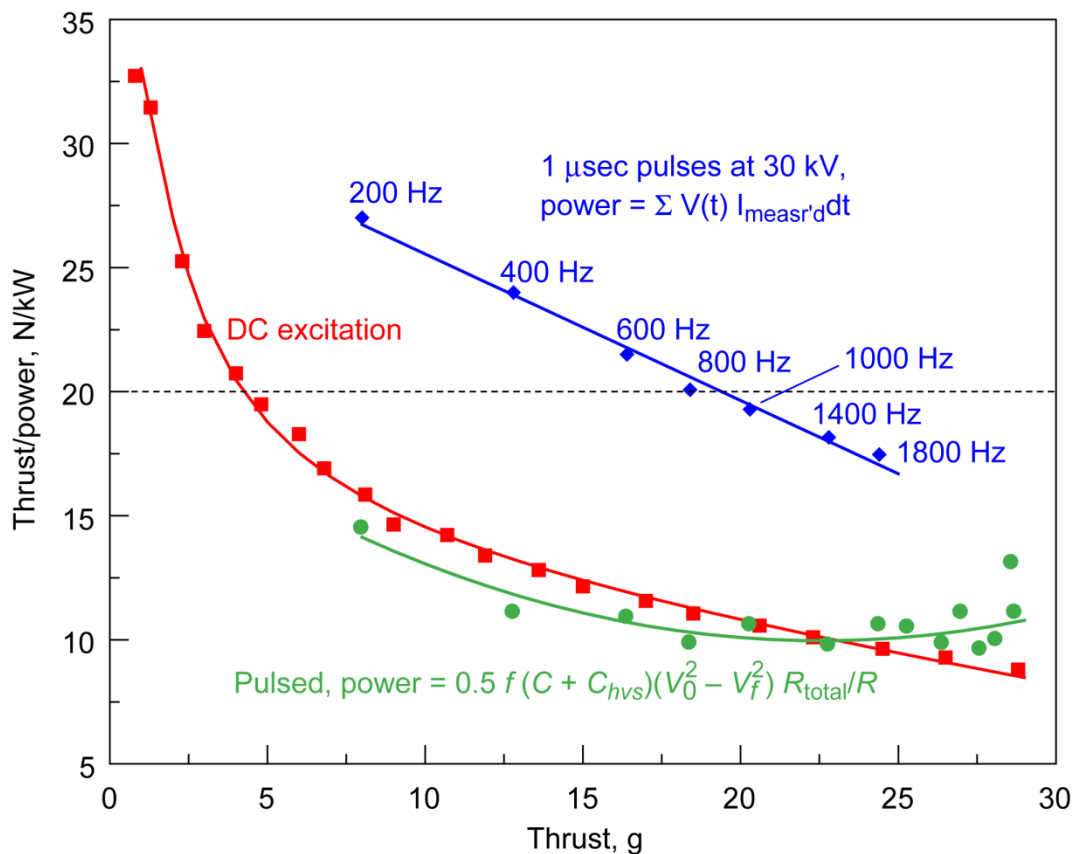


Рис. 8.4.-Тяга, поділена на потужність за розміру зазору 55 мм то потужність, що протікає через коронний розряд, P , дорівнює:

$$P = 0.5 f (C + C_{hvs}) (V_0^2 - V_f^2) R_{\text{total}} / R \quad (28)$$

який забезпечує інший розрахунок середньої потужності, незалежний від вимірювання струму. Однак він вимагає знання ємностей комутатора і розряду, а також опору розряду. Ємність комутатора досить легко визначити, відключивши коронний розряд і вимірявши спад напруги за один цикл. Тоді опір буде тільки опором високовольтного діляника, а ємність - тільки ємністю комутатора, і її значення впливає з рівняння експоненціального спаду як:

$$C_{hvs} = 1 / (R_{\text{vd}} f \ln(V_f / V_0)) \quad (29)$$

Було проведено шість вимірювань на трьох частотах, а саме 200, 600 і 1000 Гц, і напругах 2 В, 20 і 30 кВ.

Отримане середнє значення ємності перемикача склало 67 пфарад. Для самої установки використовувався аналізатор ємності-індуктивності Sencore LC53 для

вимірювання ємності між високовольтним з'єднанням і землею. Результати наведені в Таблиці 4.

ТАБЛИЦЯ 4 - ЄМНІСТЬ РОЗРЯДНОЇ УСТАНОВКИ, C , ЯК
ФУНКЦІЯ ЗАЗОРУ МІЖ ЕЛЕКТРОДАМИ, d

Зазор, d , мм	2	35	4	55	6	7	8	9	10
	5		5		5	5	5	5	5
Ємність, C , пф	5	56	5	51	4	4	4	4	44
	9		3		9	7	6	5	

Ці значення показано на рисунку 8.5. Ємність не є обернено пропорційною до d , як можна було б очікувати, але принаймні монотонно зменшується зі збільшенням d .

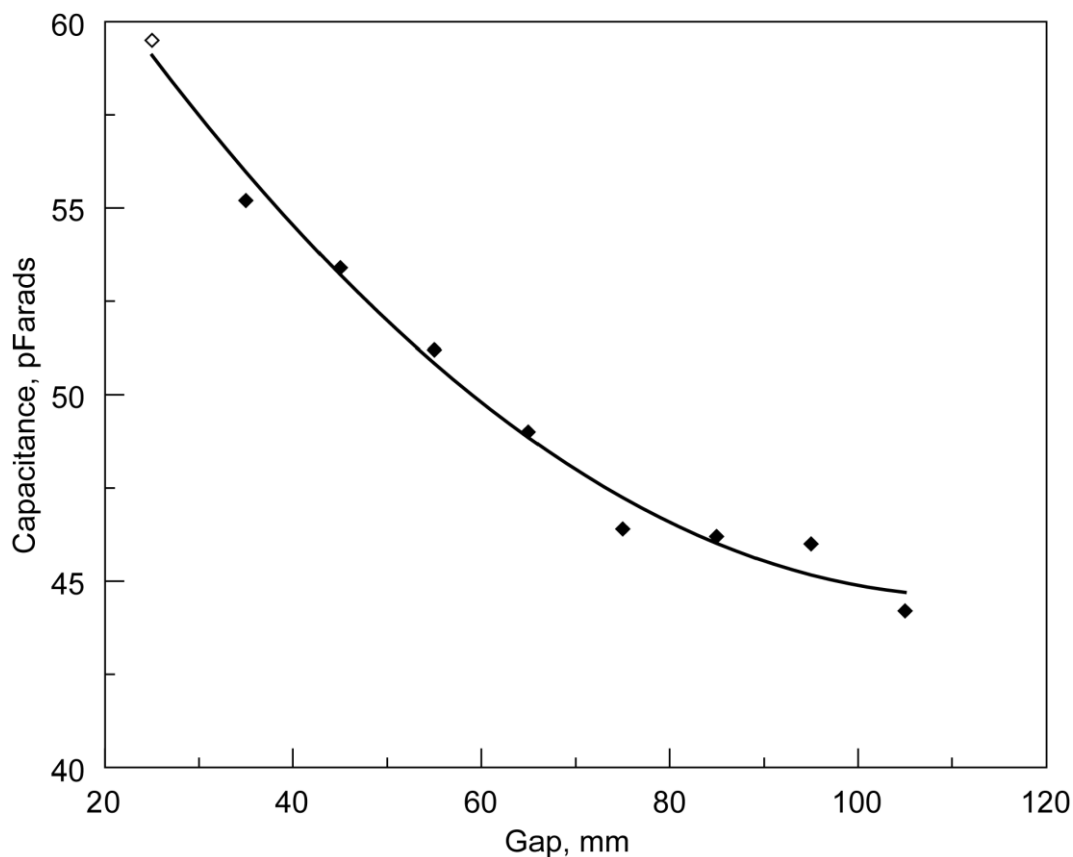


Рис. 8.5.- Ємність емітерно-колекторного апарату залежно від розміру зазору.

Після визначення ємностей, R залишається єдиною невідомою величиною в рівнянні (28).

Визначивши V_f і V_0 в циклах з високовольтним дільником і коронним розрядом, R_{total} можна оцінити зі швидкості спаду напруги, припускаючи, що R не сильно змінюється за один цикл, тобто,

$$R_{total} = 1 / ((C + C_{hvs}) f \ln(V/V_0)) \quad (30)$$

З відомим R_{total} , R можна отримати з рівняння (27), а отже, і потужність, оцінену з

Рівняння (28). Складність цієї процедури полягає в тому, що R не є постійним під час імпульсного розряду, оскільки напруга безперервно падає після розмикання вимикача. На рисунку 8.6 дані коронного розряду постійного струму з рисунка 7.9 зображено як залежність опору від напруги, з розміром проміжку як параметром. Це буде

видно, що розрядник має опір 100, тобто такий самий, як і дільник напруги, для

$d = 85$ мм при напрузі збудження 30 кВ. Таким чином, приблизно зазор 85 мм є межею між імпульсним спадом напруги, який визначається фіксованим резистором дільника напруги, і змінним опором розряду при падінні напруги. При більших зазорах і менших напругах спад буде більш схожим на спад при фіксованому резисторі, і навпаки. Процедура буде тим точнішою, чим більше спадання буде схоже на спадання для фіксованого резистора.

На рисунку 8.4 значення θ , розраховані за допомогою потужності, що визначається зміною енергії паразитної ємності, показані зеленими точками, а також значення, отримані шляхом обчислення потужності від добутку струму і напруги (тобто сині точки). Видно, що значення, розраховані на основі ємності, дуже близькі до значень постійного струму, за винятком, можливо, високих потужностей (тобто, високої частоти). Це може свідчити про те, що імпульсний режим не має переваг, що суперечить результатам з потужністю, розрахованою за добутком напруги на струм, або про те, що на високій частоті може існувати ефект. Усі результати на рис. 8.4 отримані для зазору 55 мм. Тому видається доцільним дослідити інші розміри зазору, використовуючи метод ємності для розрахунку потужності. Результати показано на рисунку 8.7, знову ж таки з θ побудовані проти сили тяги. Суцільні лінії без точок даних - це результати постійного струму з рисунка 7.8. Результати для зазору 65 мм (сині точки) є особливо цікавими, оскільки

вони показують, що можна досягти $\theta = 20$ Н/кВт при силі тяги близько 25 g. Зауважте, однак, що в цих результатах є значна невизначеність, як показано вертикальними лініями. Це пов'язано з тим, що V_f і V_0 не дуже відрізняються зі збільшенням частоти, тому ситуація схожа на віднімання двох великих чисел для отримання малого результату, що, як відомо, може призвести до помилки.

Якщо дійсно є перевага пульсації на високій частоті, цей результат здається досить дивним, оскільки напруга на високій частоті майже постійна, тому, здавалося б, ця ситуація не повинна відрізнятися від результату на постійному струмі.

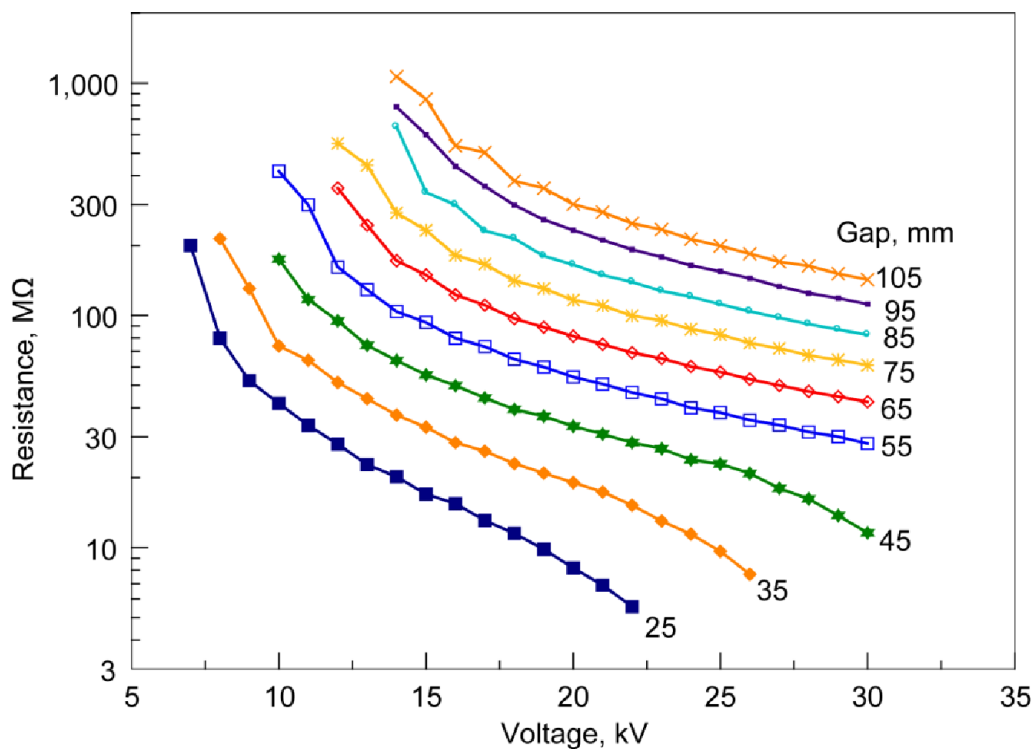


Рис. 8.6.-Опір коронного розряду залежно від зазору і напруги.

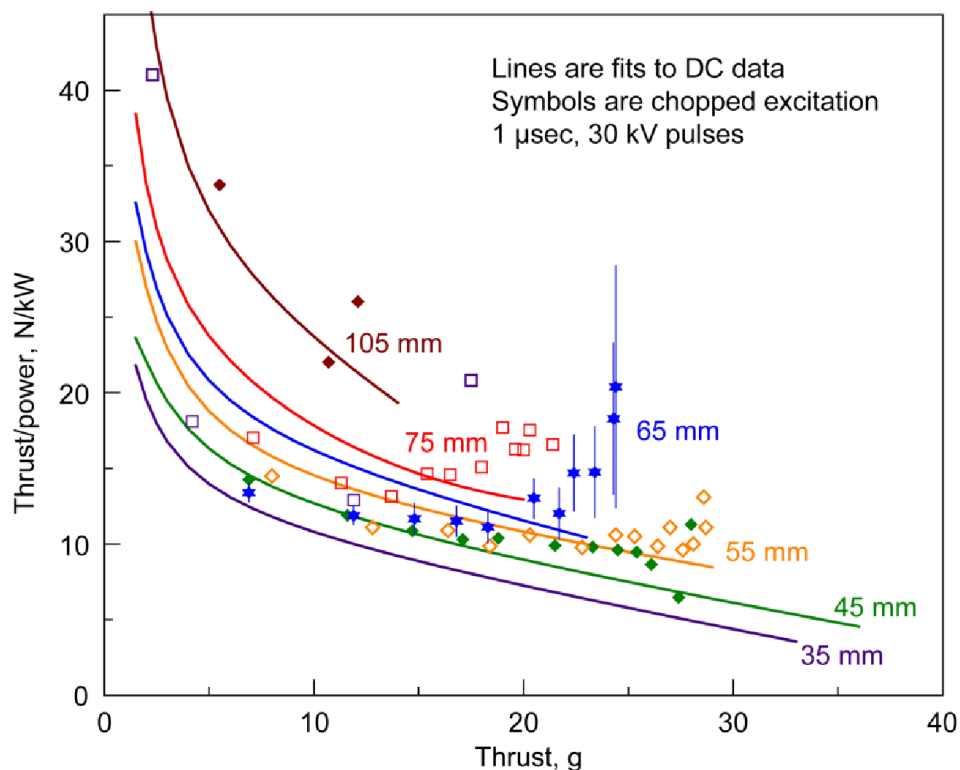


Рис. 8.7.-Тяга, поділена на потужність і тягу, з обчисленням потужності! від падіння енергії ємності за цикл.

З наведених тут результатів не можна однозначно зробити висновок, чи є збільшення θ при фіксованому значенні тяги внаслідок використання імпульсного збудження, чи ні. Результати, коли потужність в розряді розраховували за добутком напруги на струм, виглядають найбільш багатообіцяючими, але викликають сумніви щодо точності вимірювання струму. Результати з використанням зміни енергії паразитних ємностей для розрахунку потужності розряду не показують жодних поліпшень на низьких частотах і вимагають знання паразитних ємностей, які, можливо, були визначені не дуже добре. Також потрібне значення опору розряду, яке було отримане зі швидкості спаду напруги, припускаючи, що цей опір є постійним, а це не так.

Очевидно, що це тема, яка потребує подальших досліджень.

Слід також зазначити, що ці експерименти не були справжнім випробуванням техніки подвійного розряду, оскільки нібито короткий за тривалістю імпульс

насправді був розтягнутий через тривалий час спаду напруги, спричинений поєднанням паразитної ємності та високого опору розряду.

Цікаво оцінити, яку максимальну тягу може створити цей апарат, і, отже, яке збільшення розмірів потрібно для створення 500 Н тяги для Геліоса, якщо припустити, що $\theta = 20$ Н/кВт. З рисунка 7.8 видно, що при русі вздовж лінії постійного $\theta = 20$, зліва направо, сила тяги зростає, а разом з нею збільшується і зазор, і необхідна напруга. На рисунку 9.1 значення тяги для кожного розміру зазору (за необхідності інтерпольовані) при $\theta = 20$ Н/кВт нанесені на графік залежно від розміру зазору між електродами. Також показано кубічну апроксимацію даних, яка добре узгоджується з даними, за винятком точки з зазором 105 мм. Якщо кубічна апроксимація є правильною, то максимальна сила тяги становитиме близько 45 г при зазорі 250 мм. Однак, цілком ймовірно, що цього значення не вдасться досягти, оскільки коронний розряд перетвориться на дугу. На рис. 9.2 показано залежність напруги, необхідної для досягнення $\theta = 20$ Н/кВт (рожеві точки), від розміру зазору, а також відповідність (чорна лінія). Також показано декілька точок, в яких розряд дугоподібно протікав (червоні ромби). Пунктирна червона лінія є екстраполяцією цих точок на більший розмір зазору, показуючи, що він відповідає напрузі, необхідній для $\theta = 20$ Н/кВт при зазорі 200 мм, і напрузі трохи менше 80 кВ (тобто чорна точка). Повертаючись до рис. 9.1, напруга 80 кВ при зазорі 200 мм дасть тягу близько 37 г. Отже, це максимальна практична тяга, яку можна досягти за допомогою цієї установки, якщо тільки пульсація напруги збудження не збільшить тягу при тому ж значенні θ . Приблизно тоді досяжна тяга може становити близько 50 г, або 0,5 Н. Лобова площа установки становить 0,33 м², так що при тязі 0,5 Н значення ϕ становитиме 1,5 Н/м², що втричі менше, ніж максимальне значення, досягнуте Крістенсоном і Моллером (див. 3). Однак, якщо поставити три агрегати в лінію, тяга повинна бути потроєною на тій самій площі, що дасть $\phi=4,5$ Н/м². Це все ще нижче мети в 20 Н/м², тому, якщо не вдасться досягти

значних поліпшень, технологія не видається дуже практичною. Щоб досягти тяги, необхідної для Helios, потрібно збільшити тягу в 1000 разів. Тяга, необхідна для застосування висотного дирижабля Lockheed (НАА), не очевидна, але може становити близько 5 000 Н при збільшенні масштабу до 10 000. Крім того, оскільки дирижабль НАА має більшу площу поверхні, це може бути більш практичним. Однак цей дирижабль літатиме на великій висоті, де іонний вітер, безсумнівно, зменшиться через меншу щільність.

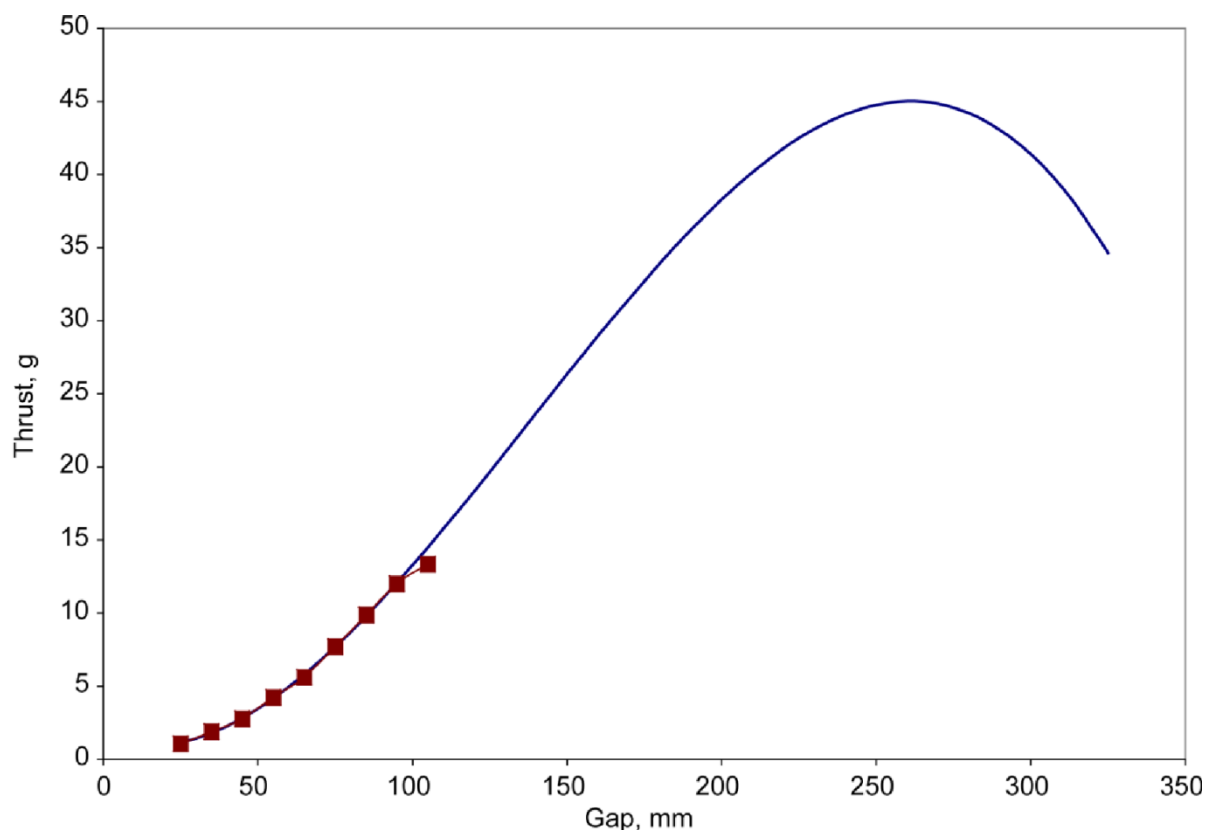


Рис. 9.1. Залежність тяги від зазору між електродами за $\Theta = 20$ Н/кВт.

Цілі, а саме $\theta = 20$ Н/кВт при $\phi = 20$ Н/м², не були досягнуті, хоча бажана тяга на одиницю потужності була досягнута. Однак, досягнення тяги на одиницю потужності означало, що був розроблений дуже низький рівень тяги. Було проведено параметричне дослідження залежності тяги на одиницю потужності від тяги (рис. 7.8) з зазором між електродами і напругою в якості параметрів, і хоча це вказало шлях до поліпшення, екстраполяція не була обнадійливою. Схоже, що це притаманно фізиці коронного розряду, і з цим мало що можна зробити. Спроби збільшити струм при заданій напруженості

електричного поля (наприклад, щіткові електроди та електроди у вигляді леза бритви), здавалося, лише зменшували тягу на одиницю потужності.

Однак, можливо, варто попрацювати над випромінювачем. Ляо, Кін і Пауелл, що вістря діаметром 0,75 мм дає струм у десять разів більший, ніж вістря голки. Вони також виявили, що волоконна фонографічна голка, яка була змочена, щоб зробити її провідною, давала в десять разів більший струм, ніж вістря діаметром 0,75 мм. Плаский кінець голки замість вістря може мати сильне поле по всьому периметру вістря, що дає більший струм. Використання такого матеріалу, як торований вольфрам, який легко випромінює електрони, також може збільшити струм. Можливо, що опромінення області розряду або ультрафіолетовим світлом, або іонізуючим γ -випромінюванням з торіонітової руди, як це використовувалося дуже рано в дослідженнях корони (див. 24), могло б змінити ситуацію, але на додатковому рівні складності, що робить цей варіант непривабливим. Таким чином, існують додаткові підходи для збільшення струму і, отже, тяги. Пульсування напруги збудження, як видається, дає найкращі надії на покращення, але це не було чітко продемонстровано, і в будь-якому випадку не забезпечує необхідного покращення тяги на одиницю потужності на порядки величин.

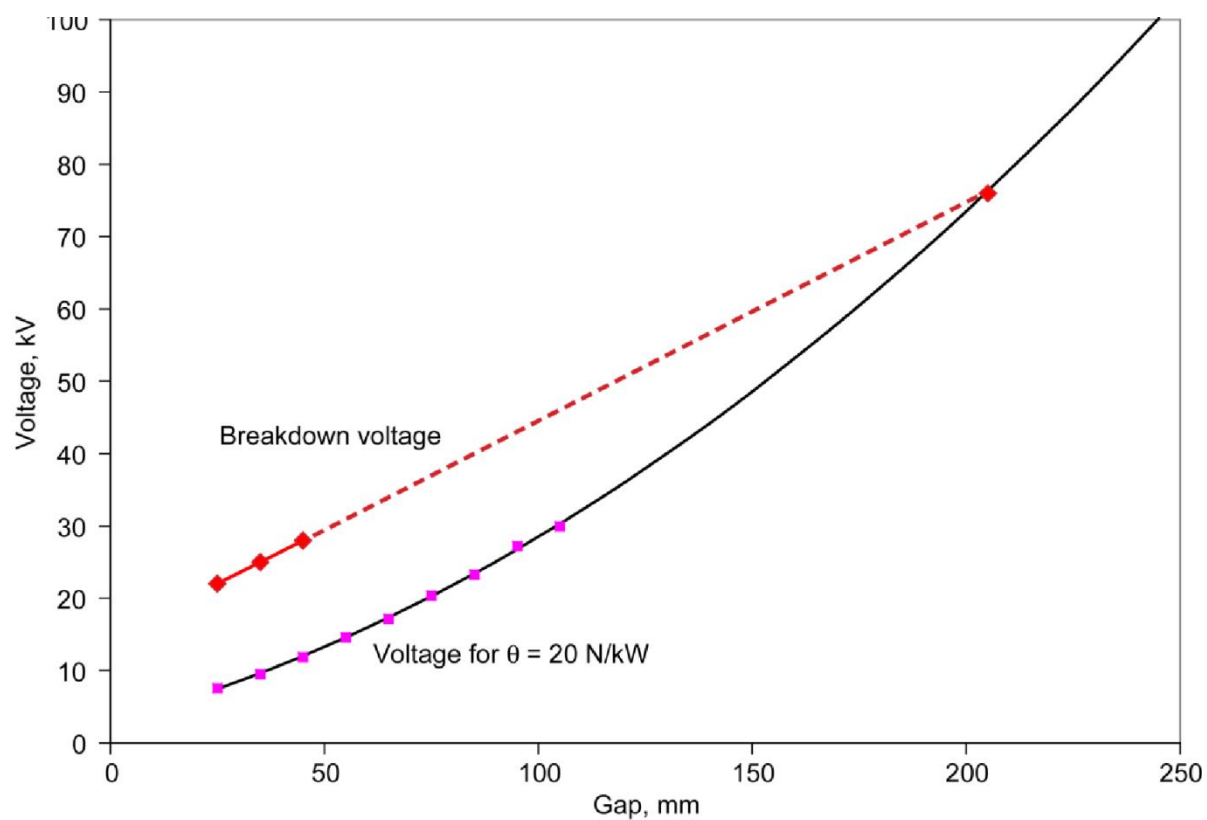


Рис. 9.2.-Залежність напруги від зазору електрода за $\Theta = 20 \text{ Н/кВт}$.

5. ВИБІР І РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

5.1 Підбір кондиціонера на масовому ринку

Навіть у контексті воєнного стану, що склався в Україні, спостерігається стабільний розвиток ринку систем кондиціонування. В цих умовах, з врахуванням наявного досвіду та професійного знання, вдається успішно знаходити оптимальне співвідношення між ціною та якістю обладнання. Це свідчить про адаптацію ринку до змінних обставин і здатність задовольняти потреби споживачів у контексті обмежених ресурсів та викликів, що стоять перед країною.

Так як бомбосховище тимчасового типу, та було побудовано на початку війни буквально руками місцевих жителів потрібно забезпечити не велику ціну системи при обґрунтовній якості.

Спліт-система повина не лише охолоджувати приміщення влітку - а ще й обігрівати його взимку тому що електро-конвектор який використовується для опалення приміщення не є ефективним. Зазвичай електро-обігрівач споживає 1кВт електроенергії та виробляє приблизно 1кВт тепла, в той час коли інверторний кондиціонер споживає 1кВт електроенергії та виробляє завдяки природному теплу приблизно 4кВт(в залежності від моделі)



Рис. 9.3 Ефективність кондиціонера на режимі нагріву

Перший варіант бюджетний, виробник заявляє потрібну продуктивність кондиціонера на вказану площу приміщення з запасом:



Рис. 9.4. Liberton LAC-24INV

Ціна: 25 555 грн

Тип компресора: інверторний

Площа роботи: 80м²

Холодоагент: R410A

Другий варіант самий актуальний на мою думку, перевірена часом компанія виробник холодильного обладнання за середню риночну ціну:



Рис. 9.5. Cooper&Hunter CH-S30XP10

Ціна: 46 120 грн.

Тип компресора: on/off (до -15°C)

Площа роботи: 85м²

Холодоагент: R410A

Третій преміум варіант



Рис. 9.6 Mitsubishi Heavy SRK80ZSPR- S

Ціна: 89 000 грн.

Тип компресора: інверторний

Площа роботи: 83м²

Холодоагент: R410A

Із цих трьох варіант було обрано Cooper&Hunter CH-S30XP10 так як це бюджетний та надійний варіант для охолодження приміщення влітку так і для опалення взимку.

5.2 Розробка іонного вентилятора

На основі поглиблених досліджень в області іонного вітру та іонної тяги, а також враховуючи обмежену доступність спеціалізованого вимірювального обладнання та матеріалів для виробництва, було прийнято рішення вибрати модель іонного вентилятора турбінного типу. Цей вибір зумовлений не лише технічними характеристиками та потенційною ефективністю обраної моделі, але й наявністю ресурсів та матеріалів, необхідних для її реалізації. Важливим фактором в цьому контексті є адаптація до існуючих умов і оптимізація використання доступних ресурсів для досягнення бажаних цілей



Рис. 9.7 Іонна турбіна

На сучасному етапі вибрана модель турбінного типу іонного вентилятора є надзвичайно актуальною для використання у системах вентиляції та повітропроводах. Ця конструкція вирізняється низьким рівнем опору та мінімальними втратами повітря, що робить її високоефективною. Крім того, цей тип вентилятора характеризується спрощеністю виробничого процесу, що є важливим чинником з огляду на оптимізацію виробництва та зниження вартості кінцевого продукту. Такі характеристики роблять його оптимальним рішенням для сучасних систем вентиляції, забезпечуючи ефективність та економічність.

Комплектуючі:



Рис. 9.8.1 Блок живлення 5В 15А (75Вт)

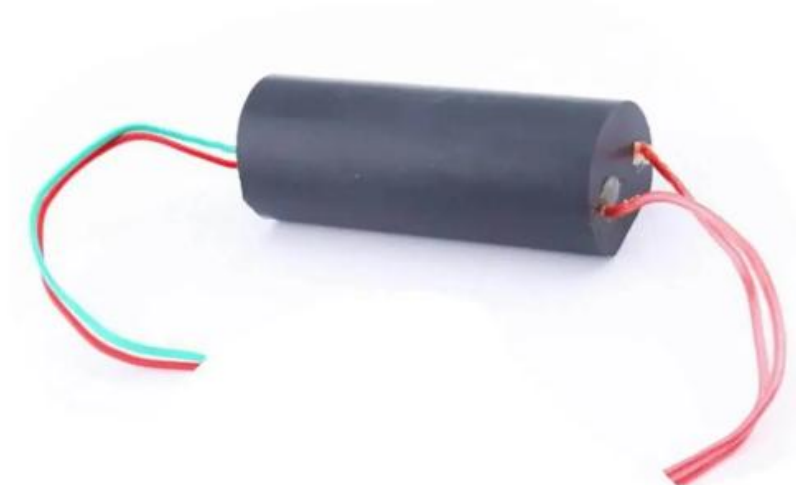


Рис. 9.8.2 Генератор високої напруги 3...6 В до 400 кВ



Рис. 9.8.3 Провод обмоточний D 0,25



Рис. 9.8.4 Труба каналізаційна 110х2,7



Рис. 9.8.5 Труба мідна 1/4"



Рис. 9.8.6 Вимикач

Всі ці комплектуючі є доступними для купівлі як по ціні так і по наявності.

Турбіна має таку форму

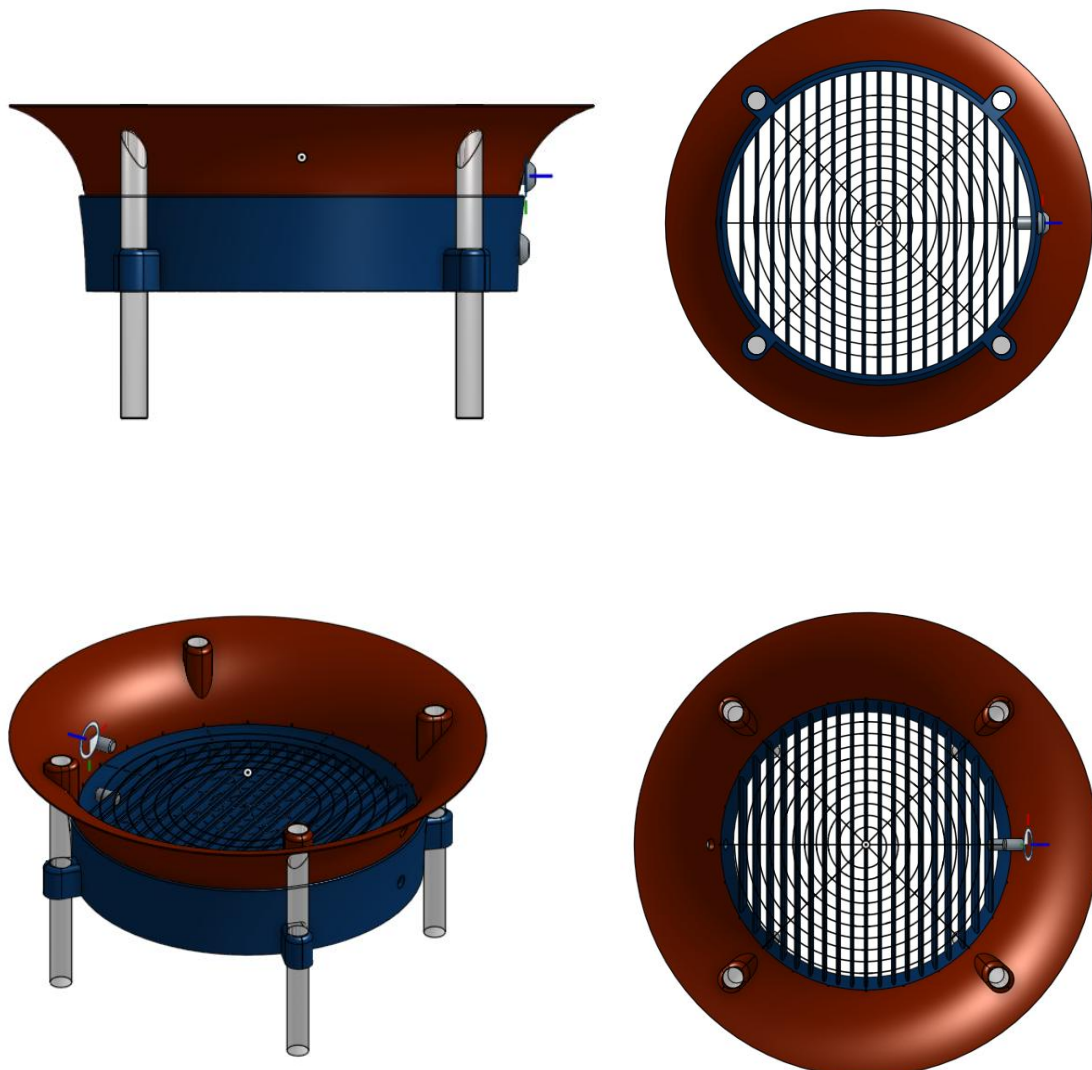


Рис. 9.9 Змодельована форма іонного вентилятора

Для створення такого іонного вентилятора використовувались експериментні данні іноземних колег, а також всі вище перелічені матеріали.

Таблиця розмірів іонного вентилятора

Зазор мм.	Размір рамки мм.	Тяга Грамм	D голок мм	шаг голок мм.	вічко сітки низьк ий мм.	D прово локи сітки низ	вічко сітки верх мм.	D проволоки сітки верх	Зазор ступені мм.	V м/с
15	D100	1,64	0,09	10	10x10	0,16	10x10	0,16	15	2,7

6 ОЦІНКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ НОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ, НОВОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ІНШИХ ІННОВАЦІЙ

В умовах відкритої ринкової економіки розширюється діапазон оцінки ефективності науково-технічних розробок, а отже, збільшується кількість основних видів ефективності НДДКР, які необхідно визначити з метою цієї оцінки. До них належать:

– **науково-технічний ефект**, який проявляється у підвищенні науково-технічного рівня, поліпшенні параметрів техніки і технологій, що впливає з відкриття нових законів та закономірностей у природі, а отже, і нових технологічних засобів виробництва речовин, матеріалів та видів продукції;

– **економічний ефект** полягає в отриманні економічних результатів від науково-технічних розробок як в цілому для народного господарства, так і для кожного виробничого суб'єкта. Економічна ефективність науково-технічних розробок за відповідною системою показників має відображати вплив їхньої результативності на розвиток економіки країни в цілому, а також регіонів, галузей, організацій і підприємств, що беруть участь у реалізації технологічних нововведень;

– **соціальний ефект**, що відображає зміни умов діяльності людини в суспільстві. Його прояв спостерігається в змінах характеру та умов праці, підвищенні життєвого рівня населення, поліпшенні побутових його умов, розширенні можливостей духовного розвитку особистості, у змінах стану довкілля;

– **маркетинговий ефект**, що відображає потреби ринку в наукових дослідженнях і розробках та можливість їх реалізації.

Науково-технічну ефективність (НТЕ) результатів прикладних робіт визначають на основі показників науково-технічного рівня. Оцінка науково-технічної ефективності НДДКР відбувається на основі показника $(O_{НТЕ})$, який представляє собою ступінь досягнення максимально можливого рівня, значення якого дорівнює 1 (одиниці):

$$O_{НТЕ} = K^{\Phi}_{НТЕ} / K^{\Pi}_{НТЕ} \quad , \quad (10.1)$$

де $K^{\Phi}_{НТЕ}$ – показник (коефіцієнт) фактичного рівня науково-технічної ефективності;

$K^{\Pi}_{НТЕ}$ – показник (коефіцієнт) потенціально можливого рівня науково-технічної ефективності (дорівнює одиниці).

Значення показника $K^{\Phi}_{НТЕ}$ визначають на основі шкали експертних оцінок (табл. 10.2).

Таблиця 10.1

Шкала експертних оцінок для виміру рівня
науково-технічної ефективності проектів

№	Групи показників	Характеристика показників	Інтервал рейтингового числа	Коефіцієнт значущості показників
1	Науково-технічний рівень	Перевищує кращі світові аналоги	10	0,35
		Відповідає світовому рівню	7 – 9	
		Нижче кращих світових аналогів	5 – 6	
		Перевищує кращі вітчизняні аналоги	3 – 4	
		Відповідає вітчизняному рівню	1 – 2	
		Нижче вітчизняного рівня	0	
2	Перспективність	Першочергова значущість	8 – 10	0,35
		Значущий	5 – 7	
		Корисний	1 – 4	
3	Потенційний масштаб практичного використання	Світовий ринок	10	0,20
		Галузі національної економіки	7 – 9	
		Галузь (регіон)	3 – 6	
		Окремі підприємства (об'єднання)	1 – 2	
4	Ступінь вірогідності досягнення позитивних результатів	Великий	10	0,10
		Середній	5 – 9	
		Малий	1 – 4	

Примітка: об'єкт оцінки і аналог(и), які порівнюють за однаковими показниками, наведеними у співставленому вигляді відхилення в значеннях кожного з показників, мають бути однаковими для варіантів, що порівнюються.

Проведення оцінки

Визначають $K^{\Phi}_{НТЕ}$ на основі експертної оцінки науково-технічного рівня розробки.

З цією метою:

- розроблюють перелік специфічних показників, необхідних для виміру науково-технічного рівня розробки;
- формують групу аналогів, які реалізовані на світовому і вітчизняному ринках;
- здійснюють відповідні розрахунки для співставлення показників і визначення балів по табл. 10.1.

До числа специфічних показників відносять:

- **для нової техніки:** продуктивність, споживання інженерних ресурсів на виробітку одиниці продукції, потреба в робочих, які обслуговують обладнання, експлуатаційні витрати на одиницю продукції;
- **для нових матеріалів і речовин:** вміст корисних речовин для виробітки готової продукції, питома вага відходів у загальному обсязі переробленої сировини, вартість одиниці ... нового матеріалу;
- **для нових технологій:** якість виробленої продукції, енергоємність і трудомісткість продукції, собівартість одиниці продукції.

З метою спрощення визначення $K^{\Phi}_{НТЕ}$ у табл. 10.2 не введено показника витрат на одиницю продукції.

Таблиця 10.2

Порівняльні показники для виконання оцінки НТЕ

ПОКАЗНИКИ	Варіанти технології	
	розробленої	співвідносної (аналога)
Рівень новізни	світовий	-
Якість продукції	найвища	вища
Споживання на 1 т продукції		
– тепла, Гкал	5,14	6,85
– електроенергії, кВт·годину	46,72	54,36
– води, м ³	4,13	3,12
Трудомісткість виробництва, людино-годин/ тонну	17,5	6,17

На основі співставлення даних таблиці встановлюють бали по характеристиках чотирьох груп і на цій основі розраховують значення інтегрального показника НТЕ:

$$\text{НТЕ} = \sum B_i \times K_i^3, \quad (10.3)$$

де $i = 1 \div 4$,

B_i – бали (рейтингове число),

K – коефіцієнт значущості показників.

Рівень науково-технічної ефективності НДДКР розраховано на основі наведених даних прикладу (табл. 10.3).

Таблиця 10.3

Експертна оцінка і розрахунок величини інтегрального показника НТЕ

№	Групи показників	Рейтинг експертів			Середня за експертними оцінками	НТЕ
		1	2	3		
1	Науково-технічний рівень	9	8	9	8,66	3,03 (8,66 x 0,35)
2	Перспективність	7	7	6	6,66	2,33 (6,66 x 0,35)
3	Потенційний масштаб практичного використання	4	5	5	4,67	0,93 (4,67 x 0,20)
4	Ступінь вірогідності досягнення позитивних результатів	7	8	7	7,33	0,73 (7,33 x 0,10)
В С Ї О Г О						7,029

$$\text{НТЕ} = 8,66 \cdot 0,35 + 6,66 \cdot 0,35 + 4,67 \cdot 0,2 + 7,33 \cdot 0,1 = 2,91 + 2,21 + 0,93 + 0,73 = 7,029$$

Отриманий результат слід порівняти з максимально можливим значенням, яке дорівнює 10 балам ($10 \cdot 0,35 + 10 \cdot 0,35 + 10 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,1$).

Отже, оцінка рівня НТЕ може бути зроблена за допомогою інтегрального коефіцієнта оцінки НТЕ ($K_{\text{НТЕ}}$):

$$K_{HTE} = \frac{HTE}{10} \cdot 100 \% .$$

На основі даних табл. 10.3 можна дійти до висновку, що K_{HTE} відповідає 70,29 %, тобто:

$$\frac{7.029}{10} \cdot 100\% = 70,29 \% .$$

В тому випадку, коли значення K_{HTE} перевищує середнє значення, яке дорівнює 5,0, має бути зроблено висновок про достатній рівень HTE:

- цілком достатній 5,0 – 6,0;
- достатній 6,1 – 8,0;
- достатньо високий 8,1 – 9,0;
- високий 9,1 – 10.

Таким чином, рівень HTE технології можна визнати достатнім. Отже, розроблену технологію пропонується впроваджувати у виробництво.

7. ОХОРОНА ПРАЦІ

В сучасному світі, де технології кондиціонування повітря відіграють ключову роль у створенні комфортних умов проживання та роботи, важливість охорони праці та безпеки в цій сфері не може бути переоцінена. Галузь кондиціонування повітря охоплює весь спектр діяльності - від проектування до встановлення, від обслуговування до ремонту систем. Кожен з цих етапів супроводжується потенційними ризиками, що вимагають уважного та системного підходу до питань безпеки.

Основні Ризики та Виклики

Електрична безпека: Взаємодія з електричним обладнанням несе в собі ризики ураження електричним струмом, що може мати серйозні наслідки. Важливим є строге дотримання електробезпеки та використання відповідного захисного обладнання.

Хімічні ризики: Використання холодильних агентів, таких як фреони, потребує особливої обережності. Неправильне поводження з цими речовинами може призвести до отруєнь, алергій, або інших негативних наслідків для здоров'я.

Ризики падіння та фізичного навантаження: Робота на висоті або переміщення важкого обладнання вимагають відповідних заходів безпеки, включаючи використання страхувальних систем та спеціального обладнання.

Заходи Безпеки

Забезпечення безпеки в цій сфері вимагає комплексного підходу:

Навчання персоналу: Регулярне навчання працівників основам безпеки та охорони праці є необхідним для попередження нещасних випадків.

Використання ЗІЗ: На кожному робочому місці повинні бути доступні засоби індивідуального захисту, відповідні до виду виконуваних робіт.

Безпечна робота з хладагентами: Важливо дотримуватися встановлених правил та норм при роботі з хімічними речовинами, а також забезпечувати гарну вентиляцію робочих просторів.

Регулярний технічний огляд: Перевірка обладнання на предмет його справності та безпеки є важливою складовою профілактики аварійних ситуацій

Охорона праці та безпека в системах кондиціонування є не тільки законодавчою вимогою, але й етичною відповідальністю роботодавців та працівників. Забезпечення високого рівня безпеки на робочому місці сприяє не тільки запобіганню травматизму, але й підвищує ефективність робочих процесів та довіру клієнтів. У світлі цього, важливо постійно вдосконалювати та оновлювати заходи безпеки, адаптуючи їх до змінних умов роботи та новітніх технологічних рішень.

ВИСНОВКИ

Дипломна робота, присвячена аналізу застосування іонних технологій у системах кондиціонування повітря для бомбосховищ, займає важливе місце в контексті сучасних наукових досліджень і технічного прогресу. Робота зосереджується на вивченні ефективності іонного потоку та його впливу на якість повітря в умовах обмеженого доступу до свіжого повітря, що є актуальним для міста Одеса, з огляду на його геополітичне положення та історію.

Основні Висновки та Рекомендації

Ефективність Іонного Потоку: Результати досліджень підтверджують, що іонізація повітря значно знижує рівень забруднювачів, включаючи мікроскопічний пил, бактерії та віруси, тим самим покращуючи загальний стан повітряного середовища в бомбосховищах.

Потенціал Іонних Технологій: Дослідження вказує на значний потенціал іонних технологій у створенні безпечного та комфортного мікроклімату. Особливо це важливо для Одеси, де потенційні воєнні конфлікти можуть вимагати ефективних рішень для захисту населення.

Рекомендації щодо Впровадження: На основі проведених досліджень рекомендується впровадження іонних технологій для поліпшення умов перебування людей в бомбосховищах, особливо в ситуаціях обмеженого доступу до свіжого повітря.

Можливості для Розвитку: Дослідження відкриває нові перспективи для подальшого вивчення та розвитку іонних технологій у галузі кондиціонування повітря, пропонуючи новітні підходи до вирішення екологічних та технічних викликів.

Загальний Аналіз та Перспективи

Дипломна робота представляє собою цінний вклад у наукове розуміння іонних технологій і їх застосування в специфічних умовах бомбосховищ. Результати дослідження не тільки підкреслюють значення іонізації повітря для покращення умов життєдіяльності в обмежених просторах, але й вказують на можливості для інновацій у проектуванні та реалізації ефективних систем кондиціонування повітря. В контексті сучасних викликів та екологічних питань, іонні технології відіграють важливу роль у розробці стійких та енергоефективних рішень, що забезпечують високий рівень комфорту та безпеки..

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Жихарева Н.В. Моделювання та оптимізація систем кондиціонування повітря[Текст] / Н.В.Жихарева // –Одесса: «ТЭС», 2016. – 171 с.
2. Жихарева, Н. В Інноваційні технології кондиціонування повітря в нестационарних умовах монографія / Н. В. Жихарева ; Одес. нац. технол. ун-т, Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ТЕС, 2022. — 264 с.
3. Жихарева,Н.В. Моделювання та оптимізація систем кондиціонування повітряпосіб. для практичних та самот. робіт / Н. В. Жихарева, М. Г. Хмельнюк, В. О. Когут ; МОН України, Одеська нац. акад. харчових технологій. — Одеса : ОНАХТ, 2017.
4. Лотошинська Н. Д. Технології 3D-моделювання в програмному середовищі 3ds Max з дисципліни "3D-Графіка" [Текст] : навч. посіб. / Н. Д. Лотошинська, І. В. Ізонін ; Нац. ун-т "Львівська політехніка". — Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2020. — 216 с. :
5. Жихарева Н.В. Оптимизация многозональных VRF систем кондиционирования воздух [Текст] // Н. В Жихарева., М.Г.Хмельнюк /Сбірник докладів міжнародної науково.-технічної конференції (20-21 лютого 2019р.). АлмаАти : АТАТУ.2019. Р 82-87
6. Zhang Q. Development of typical year weather data for Chinese locations. [Tekst] // Q.Zhang, J.Huang, S. Lang / ASHRAE Transactions: Symposia, 2002, vol. 108.
7. Kogut V.. The filter on the basis of the ejector of the heat exchanger for purification of harmful substances from flue gases using heat exchanger as combustion gas filter [Tekst] / V Kogut. V.Bushmanov, N. Zhykharieva//AIP Conferenc Proceedings 2285, 030087 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0026819>

8. Жихарева Н.В. Математичні аспекти термoeкономiчного аналізу холодильної установки плодoовочесховища. [Текст] / Н.В. Жихарева.// Холодильна техніка і технологія. 2014. № 2 (148). С. 11–15. .
9. Жихарева Н.В. Підвищення ефективності активного вентилявання при зберіганні плодoовочевої продукції [Текст] / Н.В. Жихарева., М.Г. Хмельнюк, В.І.// Наукові праці ОНАХТ – 2014. – Випуск 45. Том 1. с С. 116 –120. .
10. Когут В.Е. Применение теплообменника-эжектора в установках промышленного охлаждения воздуха [Текст] / В.Е Когут., Е.Ю Бутовский., Хмельнюк М.Г., Н.В Жихарева. // Холодильна техніка і технологія. 2015. № 1.С. 21–25.
11. Грачев Ю.Г. Основы оптимизации систем кондиционирования микроклимата. [Текст] / Ю.Г. Грачев – Пермь: Издательство. Перм. политехн. ин-та, 1987. - 80с. + 1 вкл.
12. Оносовский В.В. Моделирование и оптимизация холодильных установок. [Текст] / В.В. Оносовский В.В. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1990. – 208 с.
13. Перепека В.І. Розрахунки систем кондиціонування и вентиляции. [Текст] / В.І. Перепека, Н.В. Жихарева // Одесса: «ТЭС», 2014. – 340 с.
14. Креслинь А.Я. Оптимізація енергопостачання системами кондиціонування повітря [Текст] / А.Я. Креслинь. // - Рига: РПИ - 1982. – 155 с.
15. Нимич Г.В. Сучасні системи вентиляції и кондиціонування повітря Нимич [Текст] / Г.В. Нимич, В.А. Михайлов, Е.С. Бондарь. // - К.: ТОВ «Видавничий будинок. Аванпост–Прим». - 2005. – 630 с. 142
16. Жихарева Н.В. Математична модель плівкового зволожувача для плодoовочесховищ [Текст] / Н.В. Жихарева // // Холодильна техніка і технологія. 2014. № 6 (152). С.54–58
17. Лабай В.Й., Тепломасообмін [Текст] / В.Й. Лабай // – Львів: Тріада плюс. 2004 – 260.

- 18.Погорєлов А.І. Тепломасообмін [Текст]: Навчальний посібник для вузів.— / А.І. Погорєлов Львів. —:«Новий світ-2000». — 2004. — 144 с.
- 19.Жихарєва, Н.В. Оптимізація режиму роботи холодильної установки плодовоовочесховищ. / Н.В. Жихарєва, М.Г.Хмельнюк // Холодильна техніка і технологія. — Одеса:ОДАХ. — 2012. — №5. - с.16-20.
- 20.20 .Низькопотенційна енергетика [Текст] : навч. посіб. .
О. Редько, М. К. Безродний, М. В. Загорученко та ін. ; Нац. техн. ун-т України "Київський політехнічний університет", Одес. нац. акад. харч. технологій, Харків. нац. ун-т будівництва та архітектури, Вінниц. нац. техн. ун-т. — Харків : Друкарня Мадрид, 2016. — 412 с. : табл., рис. — Бібліогр.: с. 404-405. / А
- 21.Джеджула, В. В. Д 40 Вентиляція та кондиціонування громадських об'єктів : навчальний посібник / Джеджула В. В. — Вінниця : ВНТУ, 2021. — 71 с. ISBN 978-966-641-830-5
- 22.Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» / М.Ф.Боженко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. — Електронні текстові дані (1 файл: 36,087 Мбайт). — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. — 380 с.
- 23.Чатток, А.П. "Про швидкість і масу іонів в електричному вітрі в повітрі", Філософський журнал, 5-та серія, т. 48, № 294, сс. 401-421, 1899.
- 24.Stuetzer, O.M. "Ion Drag Pumps", Journal of Applied Physics, т. 31, № 1, сс. 136-146, 1960.
- 25.Крістенсон, Е.А., Моллер, П.С. "Іонно-нейтральний рух в атмосферних середовищах", Журнал AIAA, т. 5, № 10, сс. 1768-1773, 1967.
- 26.Веб-сайт Helios. Доступно на:
[www.nasa.gov/centers/dryden/news/FactSheets/FS-068-DFRC.html].
- 27.Сірак, М. "Lockheed Martin виграє конкурс дирижаблів", Jane's Defense Weekly, 6 жовтня 2003.

- 28.Лоу, Д.Д. "Великі дирижаблі з краном: Design and Dynamics", Доповідь АІАА 87-2378, 1987.
- 29.Веб-сайт Blaze Laboratory. Доступно на: [www.blazelabs.com].
- 30.Бортніков, Ю.С., Бортніков, В.А., Нестеров, І.Б., Чаплій, В.І.С., Нестеров, В.А., Рубашов, І.Б., Чаплій, В.І. "РОЗРЯД КОРОНИ В ПОВІТРЯНОМУ СТРУМІ", Радянський фізико-технічний журнал, т. 14, № 11, сс. 1579-1582, 1970.
- 31.Кобін, Дж.Д. "Газоподібні провідники", Dover Publications, Inc., Нью-Йорк, 1958.
- 32.Тиндалл, А.М., Гріндлі, Г.К. "Рухливість іонів у повітрі. Частина І. Негативні іони у вологому повітрі", Праці Королівського товариства (Лондон), т. 110, № 754, сс. 341-358, 1926.