

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

Варшамова Ірина Сергіївна

УДК 621.327.7

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ІСКРОВОГО РОЗРЯДНИКА**  
**ДЛЯ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ГАЗОРОЗРЯДНОГО УСТАТКУВАННЯ**

05.09.13 – Техніка сильних електричних та магнітних полів

14 – електрична інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

*Ідентичність за змістом  
з першим примірником  
дисертації засвідчує*

*Учений секретар  
спеціалізованої  
вченої ради Д 64.050.08*



I.S. Варшамова

Науковий керівник

Томашевський Роман Сергійович,

доктор технічних наук, старший дослідник

директор Навчально-наукового інституту

енергетики, електроніки та електромеханіки

НТУ«ХПІ»

Харків – 2021

## АНОТАЦІЯ

Варшамова І.С. Обґрунтування параметрів іскрового розрядника для високовольтного газорозрядного устаткування. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.13 «Техніка сильних електричних та магнітних полів» (14 – Електрична інженерія) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, 2021 р.

Дисертаційна робота присвячена обґрунтуванню параметрів іскрових розрядників для високовольтного електророзрядного устаткування на підставі виявлення впливу довжини розрядного проміжку та початкового тиску газу на газорозрядні процеси.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені задачі:

– на підставі огляду літератури провести аналіз впливу параметрів іскрового розрядника на розвиток іскрового розряду, проаналізувати техніку дослідження іскрових розрядів у газах високого тиску з визначенням особливостей вимірювання падіння напруги на електродах та газорозрядному каналі в процесі розширення іскрового каналу;

– провести чисельне дослідження впливу параметрів іскрового розрядника на розвиток іскрового розряду на підставі удосконаленої математичної моделі розширення іскрового каналу шляхом розширення області розрахунку до моменту зниження температури газу у струмопровідному каналі до 8000 К та провести дослідження впливу початкового тиску газу у розрядному проміжку на процес газодинамічного розширення іскрового каналу та введення енергії у газорозрядний проміжок;

– розробити техніку експериментально-розрахункового дослідження падіння напруги на електродах та газорозрядному каналі за результатами вимірювання струму та напруги на розрядному проміжку;

– провести дослідження впливу місця підключення дільника напруги на розвиток перехідних електричних процесів у розрядному колі з навантаженням у вигляді іскрового проміжку;

– провести експериментально-розрахункове дослідження впливу довжини розрядного проміжку та початкового тиску газу на введення енергії в розрядний канал.

Об'єкт дослідження – газорозрядні процеси, що відбуваються у іскрових розрядниках високовольтного електророзрядного устаткування.

Предмет дослідження – газові розрядники у високовольтному електророзрядному устаткуванні.

Методи дослідження. Методи теорії електричних кіл, теорії електромагнітного поля, газодинаміки, плазмохімії, використано для чисельного моделювання. В експериментальних дослідженнях застосовано осцилографування для реєстрації струму, напруги та вимірювання тиску для дослідження впливу тиску та довжини розрядного проміжку на падіння напруги у іскровому розряді. Обробка експериментальних результатів здійснювалась методом найменших квадратів.

В роботі отримані такі наукові результати.

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу з обґрунтування параметрів іскрових розрядників для високовольтного електророзрядного устаткування на підставі виявлення впливу довжини розрядного проміжку та початкового тиску газу на газорозрядні процеси.

Проведено аналіз впливу початкового тиску газу та довжини іскрового проміжку у іскрових розрядниках на розвиток іскрового розряду. За результатами аналізу літературних джерел визначено, що зростання початкового тиску газу впливає на опір розрядного каналу, на процес введення енергії в іскровий канал, тощо. Також зростання довжини розрядного проміжку призводить до зростання енергії, що виділяється в іскровому розряді. Разом з тим, не виявлено залежностей, за якими можливо кількісно визначити вплив

початкового тиску газу на розвиток іскрового розряду під час його газодинамічного розширення, що, в свою чергу, не дозволяє обґрунтувати параметри іскрових розрядників. Також такий вплив не досліджувався для умов, коли зростання розрядного проміжку супроводжується значним зменшення розрядного струму.

На підставі аналізу існуючих методів вимірювання приелектродного падіння напруги в іскровому розряді визначено неможливість застосування зондових методів у зв'язку зі впливом зонда на розвиток іскрового розряду. Застосування методу наближення електродів ускладнено із-за необхідності співнакладання у часі результатів різних вимірювань. Тому існує потреба у розвитку техніки вимірювання приелектродного падіння напруги в іскровому розряді для визначення складової виділення енергії поблизу електродів. Такі дослідження дозволять визначити фактори, що впливають на електророзрядні процеси, і через вплив на ці фактори удосконалити іскрові розрядники.

Розроблена чисельна модель розширення іскрового каналу дозволила дослідити початковий вплив тиску на формування іскри в азоті. Було встановлено, що початкове зростання тиску викликає обмеження у розширенні іскрового каналу. Це призводить до підвищення температури та електропровідності в електропровідному каналі та підвищення опору іскри, виділеної енергії, напруженості електричного поля. Але початкове зростання тиску прискорює падіння тиску у іскровому каналі і значно перерозподіляє енергетичний баланс енергії, що виділяється. Отже, ефективність введення енергії швидко зростає, коли початковий тиск зростає. Результати моделювання показали, що зміна ємності конденсатора не призводить до зміни тенденції впливу тиску.

На основі чисельної моделі розширення іскрового каналу проведено порівняння еволюції іскрового розряду в азоті для випадків його ізотермічного і адіабатичного стиснень. З'ясовано, що при однаковому часі розряду збільшення початкового тиску призводить до зменшення стрибка тиску в ударній хвилі.

Збільшення початкового тиску призводить до збільшення енергії, що виділяється в іскровому розряді. Крім того, більш висока кількість енергії, що виділяється, досягається в ізотермічно стиснутому газі. У разі ізотермічного стиснення кількість випромінюваної енергії збільшується швидше, і збільшення кінетичної енергії стає більш значним при збільшенні тиску.

Для кількісної оцінки впливу початкового тиску на виділення енергії введено коефіцієнт кореляції. Запропоновано використовувати середнє значення коефіцієнта кореляції для імітації еквівалентного іскрового навантаження для будь-якого початкового тиску в іскровому розряді.

Удосконалено техніку дослідження приелектродного падіння потенціалу в іскрі на стадії її газодинамічного розширення в газах високого тиску, що дозволяє спростити техніку проведення дослідження. Метод заснований на вимірюванні напруги на іскровому проміжку і розрахунковому визначенні напруженості електричного поля і нелінійної індуктивності іскрового каналу за експериментальною кривою розрядного струму.

Дослідженнями по експериментально-розрахунковому методу визначення приелектродного падіння потенціалу в іскрі підтверджено підвищене падіння напруги в приелектродних областях в період зростання розрядного струму і встановлення напруги, близької до стаціонарної дуги в області низьких похідних розрядного струму. На підставі експериментально-розрахункових досліджень впливу довжини розрядного проміжку та початкового тиску газу на введення енергії в розрядний канал виявлено, що фактор довжини проміжку в більшій мірі впливає на введення енергії в розрядний канал, ніж фактор початкового тиску.

Матеріали дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі НТУ "ХПІ" для студентів спеціальності "141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка", курсових проектах, дипломному проектуванні та науково-дослідних роботах, що проводяться на кафедрі.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі загальної електротехніки в

рамках науково-дослідної роботи Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" К1502 "Сучасні проблеми та перспективи розвитку електротехнічних пристроїв та систем" (ДР №0119U002551), де здобувач була виконавцем окремих розділів.

Ключові слова: довжина розрядного проміжку, початковий тиск газу, іскрові розрядники, електророзрядне устаткування, енергія, іскровий канал, іскровий розряд, коефіцієнт кореляції.

### СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

1. Korytchenko K.V., Tomashevskiy R.S., Varshamova I.S., Dubinin D.P., Lisnyak A.A., Lipovyi V.O. Numerical simulation of initial pressure effect on energy input in spark discharge in nitrogen / K.V. Korytchenko, R.S. Tomashevskiy, I.S. Varshamova, D.P. Dubinin, A.A. Lisnyak, V.O. Lipovyi // Вопросы атомной науки и техники. – Харків: ННЦ «ХФТИ». – 2019. – № 4 (122). – С. 116-119.

2. Коротченко К.В., Варшамова И.С. Усовершенствование техники исследования приэлектродного падения напряжения в искровом разряде в газах / К.В. Коротченко, И.С. Варшамова // Вісник НТУ «ХПІ» серія : Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 2. – С. 57-63.

3. Korytchenko K.V., Tomashevskiy R.S., Varshamova I.S., Meshkov D.V., Samoilenko D. Numerical investigation of energy deposition in spark discharge in adiabatically and isothermally compressed nitrogen / K.V. Korytchenko, R. Tomashevskiy, I.S. Varshamova, D.V. Meshkov, D. Samoilenko // Japanese Journal of Applied Physics. – Japanese. – 2020. – № 59. – SHHC04. doi.org/10.35848/1347-4065/ab72cc

4. Korytchenko K., Tomashevskiy R., Varshamova I., Polyakov I., Hrytsyna I., Chyrkina M. Investigation of voltage drop across reactance of expanding spark channel / K. Korytchenko, R. Tomashevskiy, I. Varshamova, I. Polyakov, I.

Hrytsyna, M. Chyrkina // 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS) / Istanbul, Turkey. – 2020. – pp. 323-326, doi: 10.1109/IEPS51250.2020.9263221.

5. Korytchenko K., Tomashevskiy R., Varshamova I., Essmann S., Dubinin D., Ostapov K. Challenges of energy measurements of low-energy spark discharges / K. Korytchenko, R. Tomashevskiy, I. Varshamova, S. Essmann, D. Dubinin, K. Ostapov // 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPI Week). October 5-10, 2020. – Kharkiv, Ukraine. – Pp. 421-424. doi: 10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250172.

6. Коритченко К.В., Варшамова І.С. Метод визначення приелектродного падіння потенціалу в іскрі на стадії газодинамічного розширення в газах високого тиску // К.В. Коритченко, І.С. Варшамова // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжн. наук.-практична конф. (MicroCAD-2019), 15-17 травня: тези доп. / Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – С. 88.

7. Korytchenko K., Tomashevskiy R., Varshamova I., Meshkov D. Numerical investigation of initial pressure influence on energy deposition in spark discharge in nitrogen // K. Korytchenko, R. Tomashevskiy, I. Varshamova, D. Meshkov // XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases & 10th International Conference on Reactive Plasmas, July 14-19, 2019 / Sapporo, Hokkaido, Japan. – 2019.

6. Коритченко К.В., Варшамова І.С. Чисельне дослідження впливу початково-го тиску на введення енергії в іскровий розряд в азоті // К.В. Коритченко, І.С. Варшамова // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XXVIII міжн. наук.-практична конф. (microCAD-2020), 28-30 жовтня 2020 р. : тези доп. / Харків: НТУ «ХПІ». – 2020. – С. 64.

## ABSTRACT

Varshamova I.S. Substantiation of spark arrester parameters for high-voltage gas-discharge equipment. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.09.13 "Technique of strong electric and magnetic fields" (14 – Electrical Engineering) – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to the substantiation of the parameters of spark arresters for high- voltage electric discharge equipment on the basis of revealing the influence of the length of the discharge gap and the initial gas pressure on the gas discharge processes. To achieve this goal the following tasks are defined:

- on the basis of the literature review to analyze the influence of the parameters of the spark arrester on the development of the spark discharge, to analyze the technique of research of spark discharges in high pressure gases to determine the features of measuring voltage drop;

- to conduct a numerical study of the influence of the parameters of the spark arrester on the development of the spark discharge using an improved mathematical model of the expansion of the spark channel by expanding the calculation area to reduce the gas temperature in the conductive channel to 8000 K, on the basis of which to study expansion of the spark channel and introduction of energy into the gas discharge gap;

- to develop the technique of experimental-computational study of voltage drop on electrodes and gas-discharge channel based on the results of current and voltage measurement on the discharge gap;

- to study the influence of the connection point of the voltage divider on the development of transient electrical processes in the discharge circuit with a load in the form of a spark gap;

- to study the experimental and calculative impact of the length of the discharge

trough and the initial gas pressure on the introduction of energy into the discharge channel.

The object of research – gas discharge processes occurring in spark arresters of high-voltage electric discharge equipment.

The subject of research – gas arresters in high-voltage electric discharge equipment.

Research methods. Methods of electric circuit theory, electromagnetic field theory, gas dynamics, plasma chemistry, used for numerical modeling. In experimental studies, oscillography is used to record current, voltage, and pressure measurements to study the effect of pressure and the length of the discharge gap on the voltage drop in a spark discharge. Processing of experimental results is carried out by the method of least squares.

The following scientific results are obtained in the work.

In the dissertation the scientific and practical problem on substantiation of parameters of spark arresters for high-voltage electric discharge equipment on the basis of detection of influence of length of a discharge interval and initial pressure of gas on gas-discharge processes is solved.

The analysis of the influence of the initial gas pressure and the length of the spark gap in the spark arresters on the development of the spark discharge is carried out. According to the analysis of literature sources, it is determined that the increase in the initial pressure of the gas affects the resistance of the discharge channel, the process of energy input into the spark channel, etc., and the increase in the length of the discharge gap. However, no dependences have been identified that can quantify the effect of the initial gas pressure on the development of spark discharge during its gas-dynamic expansion, which does not allow to justify the parameters of spark arresters, nor has such an effect been studied for conditions discharge current.

Based on the analysis of existing methods for measuring the electrode voltage drop in the spark discharge, it is determined that it is impossible to use probe methods due to the influence of the probe on the development of the spark discharge. The application of the method of approximation of the electrodes is complicated due to

the need to overlap in time the results of different measurements. Therefore, there is a need to develop a technique for measuring the electrode voltage drop in the spark discharge to determine the component of energy release near the electrodes. Such investigations will allow to define the factors influencing electric discharge processes, and through influence on these factors to improve spark arresters.

The developed numerical model of spark channel expansion allowed to investigate the initial effect of pressure on spark emission in nitrogen. It is found that the initial increase in pressure causes limitations in the expansion of the spark channel. This leads to an increase in temperature and electrical conductivity in the electrically conductive channel and increase the resistance of the spark, the energy released, the electric field strength. But the initial increase in pressure accelerates the pressure drop in the spark channel and significantly redistributes the energy balance of energy released. Therefore, the efficiency of energy input increases rapidly as the initial pressure increases. The simulation results showed that changing the capacitance of the capacitor does not change the trend of the pressure.

Based on the numerical model of spark channel expansion, a comparison of the evolution of the spark discharge in nitrogen for the cases of its isothermal and adiabatic compressions is performed. It turned out that at the same discharge time, an increase in the initial pressure leads to a decrease in the pressure jump in the shock wave. An increase in the initial pressure leads to an increase in the energy released in the spark discharge. In addition, a higher amount of energy is achieved in isothermally compressed gas. In the case of isothermal compression, the amount of radiated energy increases faster, and the increase in kinetic energy becomes more significant with increasing pressure.

A correlation coefficient is introduced to quantify the effect of the initial pressure on energy release. It is proposed to use the average value of the correlation coefficient to simulate the equivalent spark load for any initial pressure in the spark discharge.

The technique of studying the electrode drop potential in a spark at the stage of its gas-dynamic expansion in high-pressure gases has been improved, which

simplifies the research technique. The method is based on the measurement of the voltage at the spark gap and the calculation of the electric field strength and nonlinear inductance of the spark channel on the experimental curve of the discharge current.

Studies on the experimental-calculation method for determining the electrode potential drop in the spark confirmed the increased voltage drop in the electrode regions during the period of growth of the discharge current and the establishment of a voltage close to the stationary arc in the region of low discharge current derivative. Based on experimental calculations of the effect of the length of the discharge gap and the initial gas pressure on the energy input into the discharge channel, it is found that the factor of the length of the gap affects the energy input into the discharge channel more than the initial pressure factor.

The materials of the dissertation are used in the educational process of NTU "KhPI" for students of specialty "141 – Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics", course projects, diploma theses and research work conducted.

The dissertation was performed at the Department of General Electrical Engineering within the research work of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" K1502 "Modern problems and prospects of development of electrical devices and systems" (DR №0119U002551) where the applicant was the executor of certain sections.

Key words: length of the discharge gap, initial gas pressure, spark arresters, electric discharge equipment, energy, spark channel, spark discharge, correlation coefficient.

#### LIST OF PUBLICATIONS OF THE APPLICANT

1. Korytchenko K.V., Tomashevskiy R.S., Varshamova I.S., Dubinin D.P., Lisnyak A.A., Lipovyi V.O. Numerical simulation of initial pressure effect on energy input in spark discharge in nitrogen / K.V. Korytchenko, R.S. Tomashevskiy, I.S. Varshamova, D.P. Dubinin, A.A. Lisnyak, V.O. Lipovyi // Problems of atomic

science and technology. – Kharkiv: NSC «KIPT». – 2019. – № 4 (122). – С. 116-119.

2. Korytchenko K.V., Varshamova I.S. Uovershenstvovanie tehniki issledovaniya prijelektrodnogo padenija naprjazhenija v iskrovom razrjade v gazah / K.V. Korytchenko, I.S. Varshamova // Visnik NTU "HPI" serija : Problemi udoskonaljuvannja elektrichnih mashin i aparativ. Teorija i praktika. – Harkiv: NTU "HPI". – 2019. – № 2. – С. 57-63.

3. Korytchenko K.V., Tomashevskiy R.S., Varshamova I.S., Meshkov D.V., Samoilenko D. Numerical investigation of energy deposition in spark discharge in adiabatically and isothermally compressed nitrogen / K.V. Korytchenko, R. Tomashevskiy, I.S. Varshamova, D.V. Meshkov, D. Samoilenko // Japanese Journal of Applied Physics. – Japanese. – 2020. – № 59. – SHHC04. doi.org/10.35848/1347-4065/ab72cc

4. Korytchenko K., Tomashevskiy R., Varshamova I., Polyakov I., Hrytsyna I., Chyrkina M. Investigation of voltage drop across reactance of expanding spark channel / K. Korytchenko, R. Tomashevskiy, I. Varshamova, I. Polyakov, I. Hrytsyna, M. Chyrkina // 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS) / Istanbul, Turkey. – 2020. – pp. 323-326, doi: 10.1109/IEPS51250.2020.9263221.

5. Korytchenko K., Tomashevskiy R., Varshamova I., Essmann S., Dubinin D., Ostapov K. Challenges of energy measurements of low-energy spark discharges / K. Korytchenko, R. Tomashevskiy, I. Varshamova, S. Essmann, D. Dubinin, K. Ostapov // 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPI Week). October 5-10, 2020. – Kharkiv, Ukraine. – Pp. 421-424. doi: 10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250172.

6. Korytchenko K.V., Varshamova I.S. Metod vyznachennia pryjelektrodnogo padinnia potentsialu v iskri na stadii hazodynamichnoho rozshyrennia v hazakh vysokoho tysku // K.V. Korytchenko, I.S. Varshamova // Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: tezy dopovidei KhXVII mizhn. nauk.-praktychna konf. (MicroCAD-2019), 15-17 travnia: tezy dop. / Kharkiv: NTU

«KhPI». – 2019. – С. 88.

7. Korytchenko K., Tomashevskiy R., Varshamova I., Meshkov D. Numerical investigation of initial pressure influence on energy deposition in spark discharge in nitrogen // K. Korytchenko, R. Tomashevskiy, I. Varshamova, D. Meshkov // XXXIV International Conference on Phenomena in Ionized Gases & 10th International Conference on Reactive Plasmas, July 14-19, 2019 / Sapporo, Hokkaido, Japan. – 2019.

6. Korytchenko K.V., Varshamova I.S. Chyselne doslidzhennia vplyvu pochatkovo-ho tysku na vvedennia enerhii v iskrovyi rozriad v azoti // K.V. Korytchenko, I.S. Varshamova // Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdo-rovia: KhXVIII mizhn. nauk.-praktychna konf. (microCAD-2020), 28-30 zhovtnia 2020 r. : tezy dop. / Kharkiv: NTU «KhPI». – 2020. – С. 64.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
<b>РОЗДІЛ 1 ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ІСКРОВОГО РОЗРЯДНИКА</b>	
<b>НА РОЗВИТОК ІСКРОВОГО РОЗРЯДУ. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>10</b>
1.1 Вплив початкового тиску на розвиток іскрового розряду.....	10
1.2 Вплив довжини іскрового проміжку на розвиток іскрового розряду.....	17
1.3 Методи визначення приелектродного падіння напруги в іскрі.....	20
1.4 Особливості вимірювання енергії низькоенергетичного іскрового розряду.....	28
1.5 Висновки за розділом 1 .....	30
<b>РОЗДІЛ 2 ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ</b>	
<b>ІСКРОВОГО РОЗРЯДНИКА НА РОЗВИТОК ІСКРОВОГО РОЗРЯДУ .....</b>	<b>32</b>
2.1 Математична модель розширення іскрового каналу.....	32
2.2 Чисельне дослідження впливу початкового тиску газу на розвиток іскрового каналу в азоті.....	41
2.2.1 Чисельне дослідження впливу початкового тиску газу за сталої початкової температури газу .....	41
2.2.2 Чисельне дослідження впливу початкового тиску газу на іскророзрядні процеси за умови початкового адіабатичного стиснення газу .....	53
2.3 Чисельне дослідження впливу довжини розрядного проміжку на розвиток іскрового каналу в азоті .....	70
2.4 Дослідження падіння напруги на реактивному опорі іскрового каналу, що розширюється .....	83
2.5 Чисельне дослідження перехідних електричних процесів в низькоенергетичному розрядному колі .....	90
2.5.1 Еквівалентна схема іскрового проміжку .....	90
2.5.2 Еквівалентна схема і чисельна модель розрядного кола .....	91
2.5.3 Індуктивність і опір іскрового розряду.....	93

	3
2.5.4 Результати чисельного дослідження електричних процесів в низькоенергетичних розрядних колах .....	95
2.6 Висновки за розділом 2 .....	99
<b>РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВИЙ МЕТОД</b>	
<b>ВИЗНАЧЕННЯ ПРИЕЛЕКТРОДНОГО ПАДІННЯ НАПРУГИ В ІСКРІ .....</b>	<b>103</b>
3.1 Обґрунтування експериментально-розрахункового методу визначення приелектродного падіння напруги в іскрі .....	103
3.2 Верифікація методу визначення приелектродного падіння напруги в іскрі .....	105
3.3 Порівняння результатів вимірювання приелектродного падіння напруги за методом зближення електродів і по експериментально- розрахунковому методу .....	109
3.4 Висновки за розділом 3 .....	117
<b>РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ТА ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	
<b>ВПЛИВУ ТИСКУ І ДОВЖИНИ ІСКРОВОГО ПРОМІЖКУ НА РОЗПОДІЛ</b>	
<b>ЕНЕРГІЇ У ІСКРОВОМУ РОЗРЯДІ .....</b>	<b>118</b>
4.1 Техніка та методика проведення вимірювань .....	118
4.2 Результати вимірювань .....	121
4.3 Висновки за розділом 4 .....	129
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>130</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>132</b>
<b>ДОДАТОК А – АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ .....</b>	<b>147</b>
<b>ДОДАТОК Б – СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА .....</b>	<b>150</b>