

НАЦИОНАЛЬНИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Лютенко Лариса Анатоліївна

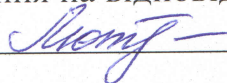
УДК 621.318

ДИСЕРТАЦІЯ
МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНЕ РОЗШИРЕННЯ ТРУБЧАСТИХ ЗАГОТІВОК ЗА
ДОПОМОГОЮ ІМПУЛЬСІВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ, «ЗРІЗАНИХ»
КЕРОВАНИМ ВАКУУМНИМ РОЗРЯДНИКОМ

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

 Л. А. Лютенко

Ідентичність за вмістом
з першим друком
дисертації
Ученый секретар
специализированной
ученой комиссии
03.06.21



Науковий керівник
Михайлов Валерій Михайлович,
доктор технічних наук, професор

Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Лютенко Л.А. Магнітно-імпульсне розширення трубчастих заготовок за допомогою імпульсів магнітного поля, «зрізаних» керованим вакуумним розрядником. – 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» Міністерства освіти і науки України, Харків, 2021.

Дисертація присвячена визначенню форми, параметрів та способу отримання імпульсів зовнішнього магнітного поля, що забезпечують розширення металеві циліндричної трубчастої заготовки за допомогою зовнішнього індуктора. Отримано аналітичні розв'язки задач проникнення «зрізаних» імпульсів зовнішнього магнітного поля в тонкостінну циліндричну металеву заготовку, за допомогою яких зроблено критеріальний аналіз впливу форми імпульсу на електродинамічні зусилля, що діють на заготовку. Експериментально досліджено імовірність появи «зрізаних» імпульсів у розрядному колі магнітно-імпульсної устатковини з керованим вакуумним розрядником. Достовірність отриманих теоретичних та практичних результатів підтверджена експериментами на низьковольтному генераторі імпульсних струмів та виконаними технологічними операціями на основі магнітно-імпульсного розширення циліндричних заготовок за допомогою зовнішнього індуктора. Розроблено практичні рекомендації з визначення параметрів магнітно-імпульсної устатковини з керованим вакуумним розрядником для отримання «зрізаних» імпульсів розрядного струму і виконання технологічних операцій.

На спосіб магнітно-імпульсного розширення трубчастих металевих заготовок отримано патент України на корисну модель (Патент України, МПК В21D 26/14. Спосіб магнітно-імпульсного розширення трубчастих металевих заготовок / Коновалов О. Я., Лютенко Л. А., Михайлов В. М.;

заявник та власник патенту НТУ «ХПІ». – №72272. Заявл. 15.02.2012. Опубл. 10.08.2012. Бюл. № 15.– 4 с.).

Результати роботи використано при виконанні науково-дослідних держбюджетних тем ДР № 0106U001494, № 0109U002401, № 0111U002273 та використовуються у навчальному процесі на кафедрі інженерної електрофізики НТУ «ХПІ» для студентів спеціальності «141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» в дисциплінах «Розрахунок і проектування магнітно-імпульсних устатковин», «Електрофізичні технологічні устатковини», «Електрофізичні технології», в курсових, дипломних та науково-дослідних роботах.

Ключові слова: магнітно-імпульсна устатковина, керований вакуумний розрядник, «зрізаний» імпульс струму, імовірність появи «зрізаних» імпульсів, зовнішній індуктор, розширення циліндричної заготовки.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧКИ

1. Бондина Н. Н., Крамчанин Е. Г., Лютенко Л. А., Михайлов В. М. Электродинамические усилия, действующие на цилиндрическую оболочку при колебательном разряде магнитно-импульсной установки. *Електротехніка і електромеханіка*, 2007. №5. С.66 – 70.

2. Лютенко Л. А., Михайлов В. М. Влияние формы импульса внешнего магнитного поля на электродинамические усилия, деформирующие цилиндрическую оболочку. *Технічна електродинаміка*, 2007. № 6. С. 15 – 19.

3. Борцов А. В., Лютенко Л. А., Михайлов В. М. Физическое моделирование проникновения “срезанных” импульсов магнитного поля в цилиндрическую проводящую оболочку. *Технічна електродинаміка*, 2008. №5. С.90 – 95.

4. Живанков К. И., Лютенко Л. А., Михайлов В. М. Электродинамические усилия, деформирующие цилиндрическую оболочку

при «срезе» внешнего магнитного поля колебательным импульсом. *Електротехніка та електромеханіка*, 2009. №6. С.53 – 59.

5. Лютенко Л. А., Михайлов В. М. Вероятность «среза» импульсов тока в контуре емкостного накопителя энергии с вакуумным розрядником. *Технічна електродинаміка*, 2012. № 3. С. 121 – 122.

6. Патент України, МПК В21D 26/14. Спосіб магнітно-імпульсного розширення трубчастих металевих заготовок / О.Я. Коновалов, Л.А. Лютенко, В. М. Михайлов; заявник та власник патенту НТУ «ХПІ». №72272. Заявл. 15.02.2012. Опубл. 10.08.2012. Бюл. № 15. 4 с.

7. Лютенко Л. А., Леденев В. В. Магнітно-імпульсна роздача трубчатих заготовок силами притяження к індуктору. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: зб. тез доп. XXVIII міжн. наук.-практична конф., м. Харків, 18 – 20 травня 2018р. Харків. 2018. С.87.

8. Лютенко Л. А. Магнітно-імпульсне розширення зовнішнім індуктором трубчастих заготовок малого діаметру. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: зб. тез доп. XXVIII міжн. наук.-практична конф., м. Харків, 28 – 30 жовтня 2020р. Харків. 2020. С.72.

ABSTRACT

Ljutenko L. A. MAGNETIC-PULSE EXPANSION OF TUBULAR WORKPIECES by MEANS OF MAGNETIC FIELD PULSES «CUT» by A CONTROLLED VACUUM SWITCH. Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a speciality 05.09.13 – technique of strong electric and magnetic fields (14 - electrical engineering) – National technical university «Kharkiv polytechnic institute» of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

Dissertation devoted to determining the shape, dimensions and method for producing pulses of external magnetic field to ensure dilation of the metal cylindrical tube workpiece with an external inductor.

Analytical solutions to the problems of penetration of «cut» pulses of the external magnetic field into thin-walled cylindrical metal workpiece are obtained, by means of which a criterion analysis of the influence of the pulse shape on the electrodynamic forces acting on the workpiece is carried out. The probability of the appearance of «cut» pulses in the discharge circuit of magnetic forming installation with a controlled vacuum switch has been experimentally investigated. The reliability of the results obtained was confirmed by experiments on a low-voltage generator of pulse currents and by performing technological operations on a magnetic forming unit based on expanding tubular workpieces using an external inductor. Practical recommendations for finding the parameters of magnetic forming installation with a controlled vacuum switch to obtain «cut» pulses of discharge current and perform the necessary technological operations of expansion of thin-walled metal workpiece by an external inductor are worked out.

The method of magnetic-pulse expansion of tubular metal workpieces has a patent of Ukraine for a utility model (Patent of Ukraine, IPC B21D 26/14. Method of magnetic-pulse expansion of tubular metal workpieces / Konovalov O. Ya.,

Lyutenko L. A, Mikhailov V. M.; applicant and patent owner of NTU "KhPI". - №72272. declared 15.02.2012 Publ. 10.08.2012, Bull. № 15.– 4 p.).

The results of work were used in the implementation of scientific topics funded from the state budget DR №0106U001494, № 0109U002401, №0111U002273 at the Department of Engineering Electrophysics and are used in the educational process of the Department of Engineering Electrophysics of NTU «KhPI» for students majoring in «141 - Electrical Energetics, Electrical Engineering and Electromechanics» in the disciplines «Calculation and design of magnetic-pulse equipment», «Electrophysical technological installations», «Electrophysical technologies», as well as in courses, diploma and research works.

Key words: magnetic forming installation, controlled vacuum switch, «cut» pulse of current, probability of the appearance of «cut» pulse, external inductor, expansion of tubular workpiece.

LIST OF PUBLICATIONS OF THE APPLICANT

1. Ljutenko L. A., Mikhailov V. M. Influence of the pulse shape of an external magnetic field on electrodynamic forces deforming a cylindrical shell. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 2007. №6. P. 15 – 19.

2. Bondina N. N., Kramchanin E. G., Ljutenko L. A., Mikhailov V. M. Electrodynamic forces acting on a cylindrical shell during an oscillating discharge of a magnetic-pulse installation. *Electrical Engineering and Electromechanics*, 2007. №5. P. 66 – 70.

3. Bortsov A.V., Ljutenko L. A., Mikhailov V. M. Physical modeling of the penetration of "cut" magnetic field pulses into a cylindrical conductive shell. *Technical Electrodynamics*, 2008. № 5. P. 90 – 95.

4. Zhivankov K. I., Ljutenko L. A., Mikhailov V. M. Electrodynamic forces deforming a cylindrical shell at a "cut" of the external magnetic field by an

oscillating pulse. *Electrical Engineering and Electromechanics*, 2009. №6. P. 53 – 59.

5. Ljutenko L. A., Mikhailov V. M. Probability of "cut" of current pulses in the circuit of a capacitive energy storage device with a vacuum discharger. *Technical Electrodynamics*, 2012. №. 3. P. 121 – 122.

6. Patent of Ukraine, IPC B21D 26/14. Method of magnetic-pulse expansion of tubular metal workpiece / Konovalov O. Ya., Ljutenko L. A., Mikhailov V. M.; applicant and patent owner of NTU «KhPI». №72272. Declared 15.02.2012. Publ. 10.08.2012. Bull. № 15. 4 p.

7. Ljutenko L. A., Ledenev V. V. Magnetic-pulse distribution of tubular workpieces by gravity to the inductor. Information technology: science, technology, technology, education, health: abstracts XXVIII int. scientific-practical conference, Kharkov, May 18 - 20, 2018. P. 87.

8. Ljutenko L. A. Magnetic-pulse expansion by an external inductor of tubular workpieces of small diameter. Information technologies: science, technology, technology, education, health: abstracts XXVIII int. scientific-practical conference, Kharkov, October 28 - 30, 2020. P. 72.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ТА АНАЛІЗ ПРОНИКНЕННЯ ІМПУЛЬСНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ ВСЕРЕДИНУ МЕТАЛЕВОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ЗАГОТІВКИ.....	14
1.1 Технологічні схеми розширення металевих трубчастих заготовок малого діаметру.....	14
1.1.1 Існуючі технологічні схеми та сучасні напрямки розвитку магнітно-імпульсної обробки металів.....	14
1.1.2 Патент Г.Фюрза та способи його реалізації.....	16
1.1.3 Сучасні технологічні схеми розширення металевих трубчастих заготовок малого діаметру.....	20
1.1.4 «Зріз» розрядного струму за допомогою силових комутаторів.....	26
1.2 Аналіз проникнення імпульсного магнітного поля в металеву циліндричну заготовку.....	34
1.3 Задачі, які необхідно вирішити в дисертації.....	37
РОЗДІЛ 2 ВПЛИВ ФОРМИ ІМПУЛЬСІВ ЗОВНІШНЬОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНІ ЗУСИЛЛЯ, ЩО ДІЮТЬ НА МЕТАЛЕВУ ЦИЛІНДРИЧНУ ЗАГОТІВКУ.....	39
2.1 Основні допущення та загальне формулювання задачі.....	39
2.2 Імпульс магнітного поля при коливальному розряді ємнісного нагромаджувача на індуктор.....	41
2.2.1 Критерії подібності точної та наближеної моделей.....	41
2.2.2 Критеріальний аналіз імпульсного магнітного поля та електродинамічних зусиль.....	47
2.3 Аперіодичні імпульси зовнішнього магнітного поля.....	55
2.4 «Зріз» імпульсу зовнішнього магнітного поля коливальним	

імпульсом додаткового ємнісного накопичувача.....	61
2.5 Рекомендації для параметрів вихідного імпульсу зовнішнього магнітного поля.....	68
2.6 Висновки другого розділу.....	69
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТИ З ОТРИМАННЯМ «ЗРІЗАНИХ» ІМПУЛЬСІВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ.....	70
3.1 Фізичне моделювання проникнення «зрізаних» імпульсів магнітного поля всередину металевої циліндричної заготовки.....	70
3.2 Імовірність «зрізу» імпульсів струму в розрядному колі ємнісного накопичувача з керованим вакуумним розрядником.....	84
3.2.1 Експериментальне обладнання.....	84
3.2.2 Методика та результати дослідження імовірності «зрізу» розрядного струму керованим вакуумним розрядником.....	88
3.3. Спосіб магнітно-імпульсного розширення трубчастих металевих заготовок на основі «зрізу» розрядного струму вакуумним розрядником.	94
3.4 Висновки третього розділу.....	96
РОЗДІЛ 4 ВИКОРИСТАННЯ «ЗРІЗАНИХ» ІМПУЛЬСІВ У МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНІЙ УСТАТКОВИНІ З КЕРОВАНИМ ВАКУУМНИМ РОЗРЯДНИКОМ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ	97
4.1 Експериментальне обладнання та визначення енергетичних параметрів магнітно-імпульсної устатковини для проведення технологічних операцій	97
4.2 Дослідження ефективності процесу розширення трубчастих заготовок малого діаметру зовнішнім індуктором при «зрізі» розрядного струму керованим вакуумним розрядником.....	100
4.3 Виготовлення деталей складної форми.....	105
4.4 Зняття металевої трубчастої деталі з діелектричного стрижня.....	107
4.5 Видалення ум'ятини з металевої трубки.....	109
4.6 Висновки четвертого розділу.....	110

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	112
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	114
ДОДАТОК А Список публікацій здобувачки.....	123
ДОДАТОК Б Акти про впровадження результатів дисертаційної роботи	125