

*Олександр Жартовський, Валерій Кравченко, Олексій Ларічкін, Жан Карягін*

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВИМІРУ ТА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

**Актуальність теми дослідження.** Імпульсні технології застосовуються в різноманітних технологічних процесах обробки матеріалів [1–3], наприклад, у зміцненні металевих поверхонь за допомогою імпульсного магнітного поля [4–7] або електричного струму для зміцнення поверхні за допомогою модифікування [8], а також у екологічних проектах [9].

**Постановка проблеми.** Для розробників технологічних процесів важливим є дотримання параметрів енергетичних показників імпульсного електричного струму. У процесі розроблення технологій вирішується питання суперечностей між можливостями технологічного обладнання та складністю виміру та дотримання необхідних параметрів. Тому для дослідників потрібні надійні системи виміру й розрахунку показників параметрів імпульсного електричного струму.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Публікації про автоматизовані системи для виміру й розрахунку енергетичних показників імпульсного електричного струму обмежені за обсягом і напрямками. Наявні підходи [10–12] до створення обладнання не пропонують комп'ютеризованих методів обліку й розрахунку показників параметрів імпульсного електричного струму.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Тому розробки автоматизованих систем вимірювання енергетичних показників імпульсного електричного струму для технологічних процесів актуальні.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка автоматизованої системи вимірювання та створення програмного забезпечення для автоматизованого виміру й розрахунку енергетичних показників імпульсів електричного струму.

Завдання роботи передбачає:

- розроблення керованого генератора імпульсів електричного струму;
- розроблення програмного забезпечення для автоматизованого виміру і розрахунку параметрів енергетичних показників імпульсів електричного струму.

**Виклад основного матеріалу.** Була розроблена автоматизована система вимірювання та розрахунку, створено програмний продукт для автоматизованого виміру енергетичних показників імпульсів електричного струму. Для цього розроблено схему автоматизованої системи, керований генератор імпульсів електричного струму і програмне забезпечення для автоматизованого виміру й розрахунку енергетичних показників імпульсів електричного струму.

**Висновки відповідно до статті.** Була розроблена автоматизована система вимірювання й розрахунку, створено програмний продукт для автоматизованого виміру та розрахунку енергетичних показників імпульсів електричного струму.

**Ключові слова:** імпульс; вимірювання; автоматизована система; розрахунок параметрів.

Рис.: 6. Табл.: 1. Бібл.: 15.

**Актуальність теми дослідження.** Імпульсні технології застосовуються в різноманітних технологічних процесах обробки матеріалів [1–3], наприклад, у зміцненні металевих поверхонь за допомогою імпульсного магнітного поля [4–7] або електричного струму для зміцнення поверхні за допомогою модифікування [8], а також у екологічних проектах [9].

**Постановка проблеми.** Для розробників технологічних процесів важливим є дотримання параметрів енергетичних показників імпульсного електричного струму. У процесі розроблення технологій вирішується питання суперечностей між можливостями технологічного обладнання і складністю виміру та дотримання необхідних параметрів. Тому для дослідників потрібні надійні системи виміру й розрахунку показників параметрів імпульсного електричного струму.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Публікації про автоматизовані системи для вимірювання й розрахунку енергетичних показників імпульсного електричного струму обмежені за обсягом й напрямками. Наявні підходи [10–12] до створення обладнання не пропонують комп'ютеризованих методів обліку й розрахунку показників параметрів імпульсного електричного струму.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Тому розробки автоматизованих систем вимірювання енергетичних показників імпульсного електричного струму для технологічних процесів актуальні.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка автоматизованої системи вимірювання та розрахунку, створення програмного забезпечення для автоматизованого виміру й розрахунку енергетичних показників імпульсів електричного струму.

Завдання роботи передбачає:

- розробку керованого генератора імпульсів електричного струму;
- розробку програмного забезпечення для автоматизованого виміру та розрахунку параметрів енергетичних показників імпульсів електричного струму.

**Виклад основного матеріалу.** Структурна схема розробленої автоматизованої системи вимірювання енергетичних показників імпульсного електричного струму зображена на рис. 1.

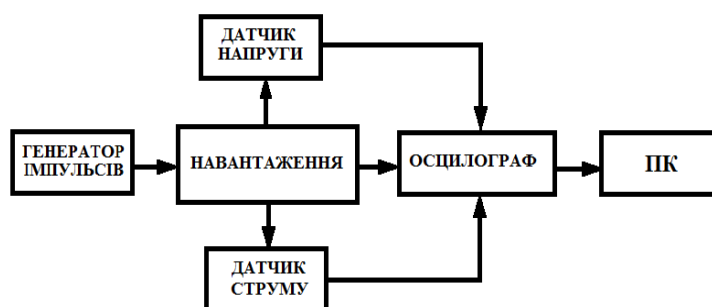


Рис. 1. Структурна схема автоматизованої системи вимірювання енергетичних показників імпульсного електричного струму

Автоматизована система вимірювання енергетичних показників імпульсного електричного струму розроблена для дослідження сукупності імпульсів струму та напруги. Сукупність часових функцій миттєвих значень струму та напруги визначають часову функцію миттєвих значень потужності, що виділяється на навантаженні. Часова функція потужності визначає часову функцію енергії електричного імпульсу. Завдяки цьому є можливим подальший розрахунок величини енергії і потужності імпульсу.

Частиною автоматизованої системи є генератор імпульсів. Його структурна схема зображена на рис. 2.

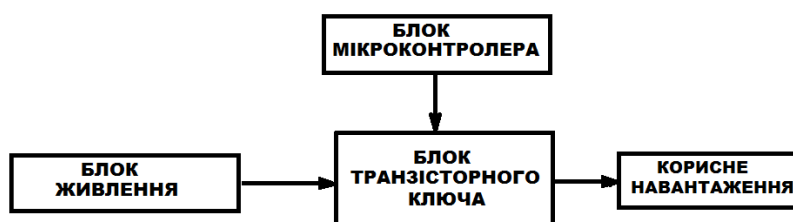


Рис. 2. Структурна схема генератора імпульсів

Напруга заряджання і ємність конденсаторної батареї регулюється. Блок мікроконтролера призначено для введення даних і регулювання часу імпульсу й паузи. Блок мікроконтролера містить кнопочку клавіатуру та рідкокристалічний індикатор. За допомогою цих пристроїв здійснюється завдання режимів роботи транзистора, тобто режиму імпульсного електричного струму. Блок транзисторного ключа містить у собі транзисторний ключ; драйвер транзисторного ключа.

Після підключення пристрою заряджається батарея конденсаторів до заданої напруги. Блоком мікроконтролера за допомогою кнопочкової клавіатури та рідкокристалічного індикатора здійснюється введення даних і регулювання часу імпульсу й паузи. Сигналом на блок транзисторного ключа здійснюються відкриття транзистора та пропускання імпульсу струму заданої частоти та тривалості.

Для отримання та фіксування в режимі реального часу результатів проведення експериментів використовуються датчики струму та напруги. Експериментальні дані (часові функції струму й напруги) зберігаються на персональному комп'ютері. Програмне забезпечення осцилографа дає змогу проводити аналіз імпульсів у режимі реального часу, а також працювати з результатами експерименту, збереженими у вигляді таблиць. Реєстрація часової функції напруги на каналі осцилографа наведена на рис. 3.

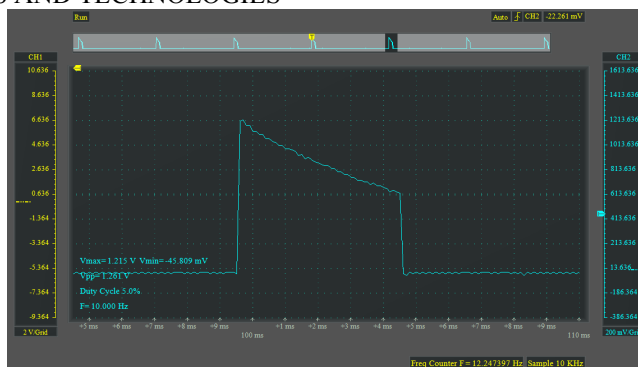


Рис. 3. Вікно реєстрації часової функції напруги на каналі 1

Дослідник у режимі реального часу на екрані комп'ютера спостерігає послідовність імпульсів напруги та струму. Сигнали струму та напруги зберігаються у вигляді табличних числових масивів. Стає можливим розрахунок величини енергії одиничного імпульсу.

На рис. 4 зображене наближене представлення електричного імпульсу.

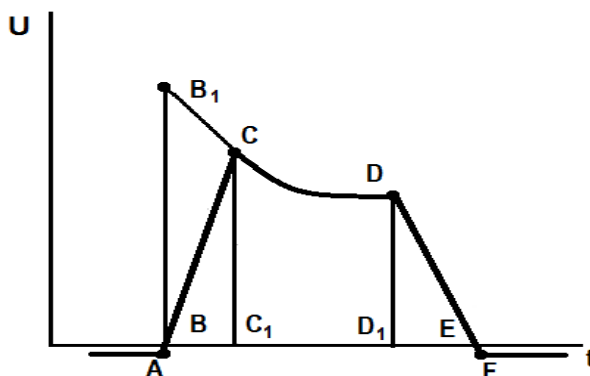


Рис. 4. Наближене представлення електричного імпульсу

Ознакою початку імпульсу (передній фронт) є зміна ординати наступної точки з близько нульового значення до деякої позитивної ненульової величини. Ознакою кінця імпульсу (задній фронт) є зміна ординати наступної точки з деякої позитивної ненульової величини до близько нульового значення. Для подальшого аналізу з  $n$  виділених імпульсів обирається один.

Після виділення підмножин точок, що відповідають фактичним імпульсам напруги та струму, програмно виконуються наступні підготовчі операції. Якщо під час зняття напруги чи струму використовувався дільник напруги, програма автоматично збільшує ординату кожної точки в 10 разів. Особливістю осцилографа є те, що обидва канали реєструють електричні сигнали незалежно один від одного. Тому абсциси точок початку імпульсів напруги та струму відповідають різним номерам строк у таблицях відповідних файлів \*.csv. Для правильності подальших розрахунків програма задає однаковий час початку імпульсів. Оскільки тривалості як імпульсу струму, так і імпульсу напруги однакові, то й абсциси останніх точок імпульсів будуть однаковими. Таким чином, відбувається горизонтальний зсув імпульсів уздовж осі часу, що ніяким чином не впливає на подальший розрахунок енергетичних показників імпульсного електричного струму, а є необхідною умовою правильності розрахунку потужності та енергії імпульсу. Час переводиться з наносекунд у секунди.

Часова функція потужності імпульсу електричного струму:

$$p(t) = i(t) \cdot u(t) . \tag{1}$$

Часова функція енергії, протягом інтервалу часу існування імпульсу:

$$e(t) = \int p(t)dt . \tag{2}$$

Метою роботи програми є визначення середніх значень потужності та енергії.

Формула розрахунку середньої потужності імпульсу:

$$P_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^N p(t_i)}{N}, \quad (3)$$

де  $N$  – кількість точок, що належать імпульсу.

Формула розрахунку середньої енергії, що виділяється за один імпульс:

$$E_{CP} = P_{CP} \cdot t_{ИП}. \quad (4)$$

Згідно з класичними методиками розрахунку програмно проводиться визначення коефіцієнтів для теоретичних ліній регресії (лінійна функція, квадратична функція, степенева функція, логарифмічна функція, показова функція) для часових функцій напруги та струму ( $u(t)$ ,  $i(t)$ ) шляхом рішення відповідних систем алгебраїчних рівнянь. Завдання програміста полягає також у тому, щоб програма проводила автоматичний розрахунок середньоквадратичної помилки в області емпіричних даних для кожної інтерполяційної кривої. Робиться висновок про найбільш точну математичну функцію, яка описує процес розряду батареї.

Результати роботи програми для кожного режиму функціонування системи (найбільш точні інтерполяційні функції для імпульсів напруги та струму, середні значення потужності та енергії) систематизуються за параметрами налаштування роботи системи та зберігаються. Базуючись на цих теоретичних пропозиціях, можна спрогнозувати енергетичні параметри роботи системи при більших значеннях напруги та ємності батареї.

Викладені пропозиції дозволяють розробити алгоритми розрахунку кривої найліпшого наближення.

Аналітичний вираз функції відгуку для електричної напруги та сили струму представляється у вигляді полінома:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (5)$$

де  $b_0$ ,  $b_i$ ,  $b_{ij}$ ,  $b_{ii}$  – вибіркові коефіцієнти регресії, які можна одержати, використовуючи результати обробки вимірних даних.

Отримана емпіричним шляхом функція (8) являє собою математичну модель процесу.

Для пошуку значень величин електричної напруги та сили струму в вигляді математичної моделі використовуються побудовані за принципом найменших квадратів такі залежності-рівняння: пряма лінія; парабола другого порядку; степенева функція; показова функція; логарифмічна функція.

Алгоритм обробки покроковий. Першою для аналізу автоматично вибирається пряма лінія, другою – парабола другого порядку й ін. Для кожної моделі програмно обчислюються середньоквадратичні відхилення від заданих точок, які потім порівнюються між собою. Модель, у якій відхилення на інтервалі існування імпульсу найменше, приймається за оптимальну модель найліпшого наближення. Ця математична модель процесу буде використовуватись у подальших дослідженнях.

Згідно з класичним методом розрахунку (принцип найменших квадратів) програмно проводиться визначення коефіцієнтів теоретичних ліній регресії (лінійної функції, квадратичної функції, степеневої функції, логарифмічної функції, показової функції) для часових функцій напруги та струму ( $u(t)$ ,  $i(t)$ ) шляхом рішення відповідних систем алгебраїчних рівнянь [13]. Для визначення коефіцієнтів функцій беруться емпіричні точки тільки з діапазону CD (рис. 4). Завдання програміста полягає також у тому, щоб

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

програма проводила автоматичний розрахунок середньоквадратичної помилки в області вхідних емпіричних даних для кожної апроксимуючої кривої.

Результати роботи програми для кожного набору значень параметрів роботи системи (найбільш точні апроксимуючі функції для імпульсів напруги та струму, середні значення потужності та енергії) систематизуються та зберігаються на ПК. Ґрунтуючись на отриманих математичних моделях, можна спрогнозувати значення енергетичних показників імпульсного електричного струму.

Інтегральна обробка емпіричних даних виконується в такій послідовності:

1. Програміст отримує від експериментатора пакет файлів із результатами проведення експериментів. Файли містяться в папках парами (опосередкований струм – напруга). Для кожної пари вказується набір значень параметрів функціонування системи (напруга заряду батареї, ємність батареї, частота та тривалість імпульсів електричного струму в контурі розряду).

2. Усі файли (формат \*.csv) повторно зберігаються, але вже у форматі \*.txt. Отримані файли (формат \*.txt) зберігаються у форматі \*.xlsx для зручності й універсальності. Надалі програма буде завантажувати дані з файлів формату \*.xlsx.

При натисканні на відповідну кнопку програма спочатку завантажує 1 файл із пари (струм-напруга). Надалі програма працює в напівавтоматичному режимі.

Після завантаження вхідних даних (файл \*.xlsx для напруги) програма автоматично виділяє один імпульс. Далі відбувається регресійний аналіз. Для кожної з п'яти апроксимуючих кривих розраховуються коефіцієнти.

На екрані окремо виводиться тип апроксимуючої кривої найкращого наближення та її коефіцієнти. Ординати точок теоретичної кривої в часовому діапазоні існування імпульсу зберігаються в пам'яті програми. Аналогічна послідовність операцій виконується при наступному завантаженні другого файла із пари струм-напруга (файл \*.xlsx для опосередкованого струму). Для розробки інформаційної моделі програми дослідження моделей найкращого наближення експериментальних даних застосовано технологію структурного аналізу і проектування SADT (Structured Analysis and Design Technique) [14]. SADT діаграма першого рівня обробки вимірювальних даних наведена на рис. 5. Функціональний опис кожній активності для контекстної структурно-функціональної моделі першого рівня (наведено в таблиці).

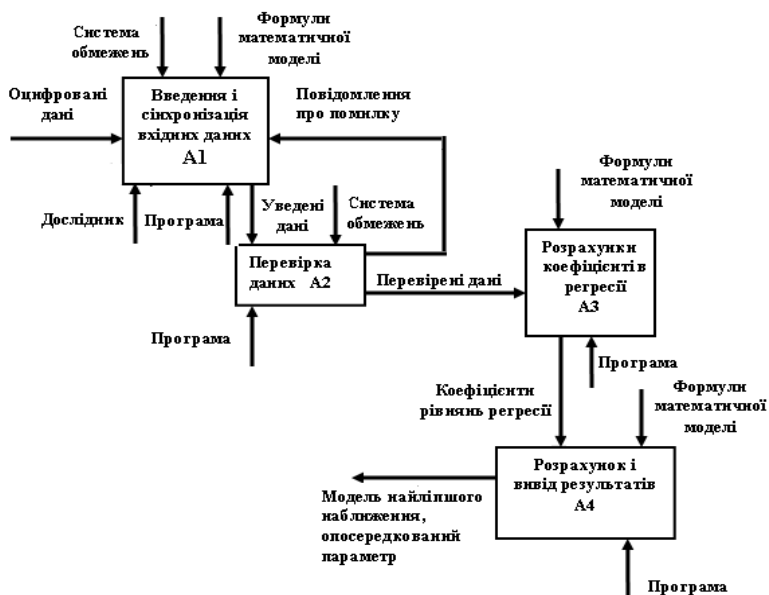


Рис. 5. SADT діаграма першого рівня обробки вимірювальних даних

## Опис активності SADT-діаграми першого рівня

Активність	Призначення	Вхідні дані	Вихідні дані	Управління	Виконавець
A1	Присвоєння змінним значень, отриманих із досліджу	Оцифровані дані досліджу	Уведені дані	Дії визначаються дослідником	Дослідник
A2	Перевірка даних на допустимі значення та синхронізацію	Уведені дані	Перевірені дані	Залежить від системних обмежень	Програма
A3	Розрахунок коефіцієнтів регресії	Перевірені дані	Коефіцієнти рівнянь регресії	Формули математичної моделі	Програма
A4	Розрахунок потужності та вивід результатів	Коефіцієнти рівнянь регресії	Модель найліпшого наближення, опосередкований параметр	Формули математичної моделі та функції для відображення даних	Програма

На основі отриманих теоретичних ліній регресії найліпшого наближення розраховуються середнє значення потужності та середнє значення енергії, що виділяється за один імпульс (рис. 6). Програмний продукт для розрахунку енергетичних показників імпульсно-електричного струму та вибору математичної моделі найкращого наближення для подальшого аналізу був розроблений із використанням Delphi 10.2 Tokyo Starter Edition [15].

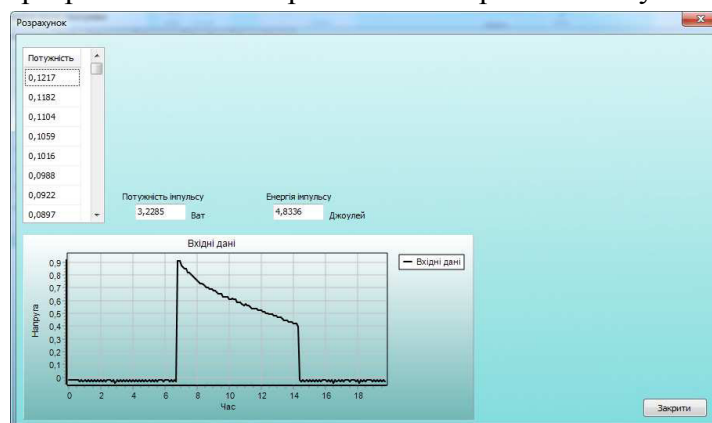


Рис. 6. Вікно розрахунку середньої потужності та енергії імпульсу

**Висновки відповідно до статті.** Була розроблена автоматизована система вимірювання та розрахунку, створено програмний продукт для автоматизованого виміру й розрахунку енергетичних показників імпульсів електричного струму. Для цього розроблено схему автоматизованої системи, керований генератор імпульсів електричного струму і програмне забезпечення для автоматизованого виміру й розрахунку енергетичних показників імпульсів електричного струму.

#### Список використаних джерел

1. Баранов М. И. Прогрессивные импульсные технологии обработки материалов: история, физические основы и технические возможности / М. И. Баранов // Электротехника и электромеханика. – 2009. – № 1. – С. 42–54.
2. Батыгин Ю. В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий / Ю. В. Батыгин, В. И. Лавинский, Л. Т. Хименко. – Х. : МОСТ-Торнадо, 2003. – 288 с.
3. Исследование возможности применения разрядно – импульсного метода в технологиях очистки промышленных стоков обогатительного производства / В. В. Коростовенко, М. В. Ворошилова, А. Г. Степанов, В. А. Гронь, А. В. Галайко // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4 (1). – С. 39–43.
4. Водин Д. В. Магнитно-импульсная обработка как перспективный метод повышения износостойкости металлорежущего инструмента / Д. В. Водин // Технические науки: проблемы и перспек-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

тивы : материалы III Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). – СПб. : Свое издательство, 2015. – С. 67–70.

5. Полетаев В. А. Исследование на износостойкость зубчатых колес, упроченных импульсной магнитной обработкой / В. А. Полетаев, А. Н. Шабалин // Вестник ИГЭУ. – 2006. – Вып. 3. – С. 26–27.

6. Плетаев В. А. Повышение долговечности медицинских метчиков методом импульсной магнитной обработки / В. А. Плетаев, А. А. Зайцев // Вестник ИГЭУ. – 2006. – Вып. 3. – С. 29–30.

7. Батыгин Ю. В. Магнитно-импульсная обработка тонкостенных металлов / Ю. В. Батыгин, В. И. Лавинский. – Х. : МОСТ- Торнадо, 2002. – 288 с.

8. Упрочнение приповерхностных слоев образцов из стали 45 с помощью микроплазменной обработки / В. А. Иванов, М. Е. Коньжев, Л. И. Куксенова та ін. // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2015. – № 4. – С. 96–102.

9. Рязанов Н. Д. Действие обеззараживающих факторов импульсного электрического разряда в воде / Н. Д. Рязанов, Е. Н. Перевязкина // Электронная обработка материалов. – 1984. – № 2. – С. 43–45.

10. Бойко Н. И. Высоковольтные аппараты и технологии на основе комплекса высоковольтных импульсных воздействий / Н. И. Бойко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2001. – № 16. – С. 11–16.

11. Установка для обработки текучих продуктов при помощи комплекса импульсных воздействий и результаты исследований / Н. И. Бойко, А. Н. Тур, Л. С. Евдошенко и др. // Технічна електродинаміка. – 2001. – № 4. – С. 59–63.

12. Высоковольтные установки и технологии на основе комплекса высоковольтных импульсных воздействий / Н. И. Бойко, Л. С. Евдошенко, А. И. Зароченцев, В. М. Иванов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» : збірник наукових праць. Тематичний випуск: Електроенергетика та перетворююча техніка. – 2004. – № 35. – С. 54–63.

13. Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев. – М. : Наука, 1984. – 425 с.

14. Марка Д. А. Методология структурного анализа и проектирования SADT / Дэвид А. Марка, Клемент Л. Мак Гоуэн. – М. : Метатехнология, ТОО ФРЭД. 1993. – 242 с.

15. Delphi 10.2 Tokyo Starter Edition. Бесплатные инструменты [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.embarcadero.com/ru/free-tools>.

### References

1. Baranov, M. I. (2009). Progressivnyye impulsnyye tehnologii obrabotki materialov: istoriia, fizicheskie osnovy i tehnicheckie vozmozhnosti [Progressive impulse technologies of material processing: history, physical bases and technical capabilities]. *Elektrotehnika i elektromehanika – Electrical engineering and electromechanics, 1*, 42–54 [in Russian].

2. Batygin, Yu. V., Lavinskii, V. I., Khimenko, L. T. (2003). *Impulsnyye magnitnyye polia dlia progressivnykh tehnologiy [Pulsed magnetic fields for advanced technologies]*. Kharkov: MOST-Tornado [in Russian].

3. Korostovenko, V. V., Voroshilova, M. V., Stepanov, A. G., Gron, V. A., Galaiko, A. V. (2013). Issledovanie vozmozhnosti primeneniya razryadno – impulsnogo metoda v tehnologiyah ochistki promyshlennyykh stokov obogatitel'nogo proizvodstva [Study possibilities to use of discharge-pulse method in technologies effluent treatment of concentrating production]. *Fundamentalnye issledovaniia – Fundamental research, 4 (1)*, 39–43 [in Russian].

4. Vodin, D. V. (2015). Magnitno-impulsnaia obrabotka kak perspektivnyi metod povysheniia iznosostoikosti metallorezhushchego instrumenta [Magneto-impulse treatment as a promising method for increasing the wear resistance of metal cutting tools]. *Tekhnicheskii nauki problemy i perspektivy: materialy III Mezhdunar. nauch. konf. – Technical sciences: problems and prospects: materials III Intern. Sci. Conf.* (St. Petersburg, July 2015) (pp. 67–70). St. Petersburg: Svoe izdatelstvo [in Russian].

5. Poletaev, V. A., Shabalin, A. N. (2006). Issledovanie na iznosostoykost zubchatykh koles, uprochnennykh impulsnoy magnitnoy obrabotkoy [Investigation of the wear resistance of gears reinforced with pulsed magnetic treatment]. *Vestnik IGEU – Bulletin of ISEU, 3*, 26–27 [in Russian].

6. Pletaev, V. A., Zaitsev, A. A. (2006). Povyshenie dolgovechnosti meditsinskih metchikov metodom impulsnoy magnitnoy obrabotki [Increasing the durability of medical taps by the method of pulsed magnetic processing]. *Vestnik IGEU – Bulletin of ISEU, 3*, 29–30 [in Russian].

7. Batygin, Yu. V., Lavinskii, V. I. (2002). *Magnitno-impulsnaya obrabotka tonkostennykh metallov* [Magnetic-pulse processing of thin-walled metals]. Kharkov: MOST- Tornado [in Russian].
8. Ivanov, V. A., Konyzhev, M. E., Kuksenova, L. I., Lapteva, V. G., Hrennikova, I. A. (2015). Uprochnenie pripoverhngostnykh sloev obraztsov iz stali 45 s pomoschyu mikroplazmennoy obrabotki [Strengthening of near-surface layers of samples from steel 45 by means of micro plasma treatment]. *Problemy mashinostroeniia i nadezhnosti mashin – Problems of machine building and machine reliability*, 4, 96-102 [in Russian].
9. Riazanov, N. D., Pereviashkina, E. N. (1984). Deystvie obezzarazhivayuschih faktorov impulsnogo elektricheskogo razriada v vode [The effect of disinfecting factors of a pulsed electric discharge in water]. *Elektronnaia obrabotka materialov – Electronic material processing*, 2, 43–45 [in Russian].
10. Boiko, N. I. (2001). Vysokovoltnye apparaty i tehnologii na osnove kompleksa vysokovoltnykh impulsnykh vozdeistvii [High-voltage apparatuses and technologies based on a complex of high-voltage impulse actions]. *Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu «Kharkivskiy politehnicnyi institut» – Bulletin of the National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»*, 16, 11–16 [in Russian].
11. Boiko, N. I., Tur, A. N., Evdoshenko, L. S., Ivanov, V. M. et al. (2001). Ustanovka dlia obrabotki tekuchikh produktov pri pomoshchi kompleksa impulsnykh vozdeistvii i rezultaty issledovaniia [Installation for the processing of flowing products by means of a complex of impulse actions and the results of investigations]. *Tehnicna elektrodinamika – Technical electrodynamics*, 4, 59–63 [in Russian].
12. Boiko, N. I., Evdoshenko, L. S., Zarochentsev, A. I., Ivanov, V. M. (2004). Vysokovoltnye ustanovki i tehnologii na osnove kompleksa vysokovoltnykh impulsnykh vozdeistvii [High-voltage plants and technologies based on a complex of high-voltage impulse actions]. *Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu «Kharkivskiy politehnicnyi institut» – Bulletin of the National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»*, 35, 54–63 [in Russian].
13. Zaitsev, G. N. (1984). *Matematicheskaia statistika v eksperimentalnoi botanike* [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow: Nauka [in Russian].
14. Devid A. Marka, Klement L. Mak Gouen (1993). *Metodologiia strukturnogo analiza i proektirovaniia SADT* [Methodology of structural analysis and design of SADT]. Moscow: Metatehnologiya, TOO FRED [in Russian].
15. Delphi 10.2 Tokyo Starter Edition. *Besplatnye instrumenty* [Free tools]. Retrieved from <https://www.embarcadero.com/ru/free-tools>.

UDC 519.6

Oleksandr Jhartovsky, Valeriy Kravchenko, Oleksii Larichkin, Zhan Karyahin

## AUTOMATED SYSTEM OF MEASUREMENT AND CALCULATION OF PULSE ELECTRIC CURRENT PARAMETERS

**Urgency of the research.** Pulse technologies are used in a variety of technological processes for processing materials [1 ± 3], for example, in hardening of metal surfaces by means of a pulsed magnetic field [4 ± 7], surface modification by means of pulsed electric current [8] also in ecological projects [9].

**Target setting.** For developers of technological processes, it is important to observe the energy parameters of a pulsed electric current. In the process of developing technologies, the issue of the contradiction between the capabilities of technological equipment, measurements and observance of necessary parameters is solved.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Publications about automated systems for measuring and calculating energy of pulsed electric current are limited in volume and directions. Existing approaches [10-12] to the creation of equipment do not offer computerized methods of accounting and calculation of pulsed electric current parameters.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Therefore, the development of automated systems for measuring the energy parameters of pulsed electric current for technological processes is relevant.

**The research objective.** The aim of the work is the development of an automated system for measuring and creating software for the automated measurement of the energy parameters of electric current pulses.

The tasks of the work include:

- the development of a controlled electric current pulse generator;
- the development of software for the automated measurement and calculation the energy parameters of electric current pulses.

**The statement of basic materials.** An automated measurement system was developed and a software product was developed for the automated measurement of the energy parameters of electric current pulses. For this purpose, a scheme of an automated system, a controlled electric current pulse generator, and software for the automated measurement of the energy parameters of electric current pulses have been developed.

**Conclusions.** An automated system of measurement and calculation was developed, a software product was developed for automated measurement and calculation of power parameters of electric pulses.

**Keywords:** impulse; measurement; automated system; calculation of parameters.

Fig.: 6. Table: 1. References: 15.



*Александр Жартовский, Валерий Кравченко, Алексей Ларичкин, Жан Карягин*

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ И РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

**Актуальность темы исследования.** Импульсные технологии применяются в разнообразных технологических процессах обработки материалов [1–3], например, в упрочнении металлических поверхностей с помощью импульсного магнитного поля [4–7], модифицирования поверхности с помощью импульсного электрического тока [8], а также в экологических проектах [9].

**Постановка проблемы.** Для разработчиков технологических процессов важным является соблюдение параметров энергетических показателей импульсного электрического тока. В процессе разработки технологий решается вопрос о противоречии между возможностями технологического оборудования, измерениями и соблюдением необходимых параметров.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Публикации про автоматизированные системы для измерения и расчета энергетических показателей импульсного электрического тока ограничены по объему и направлению. Существующие подходы [10–12] к созданию оборудования не предлагают компьютеризированных методов учета и расчета показателей параметров импульсного электрических тока.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Поэтому разработки автоматизированных систем измерения энергетических показателей импульсного электрического тока для технологических процессов актуальны.

**Постановка задания.** Целью работы является разработка автоматизированной системы измерения и создания программного обеспечения для автоматизированного измерения энергетических показателей импульсов электрического тока.

Задачи работы предусматривают:

- разработку управляемого генератора импульсов электрического тока;

- разработку программного обеспечения для автоматизированного измерения и расчета параметров энергетических показателей импульсов электрического тока.

**Изложение основного материала.** Была разработана автоматизированная система измерения и создан программный продукт для автоматизированного измерения и расчета энергетических показателей импульсов электрического тока. Для этого разработана схема автоматизированной системы, управляемый генератор импульсов электрического тока и программное обеспечение для автоматизированного измерения и расчета энергетических показателей импульсов электрического тока.

**Выводы в соответствии со статьей.** Была разработана автоматизированная система измерения и расчета, создан программный продукт для автоматизированного измерения и расчета энергетических показателей импульсов электрического тока.

**Ключевые слова:** импульс; измерение; автоматизированная система; расчет параметров.

Рис.: 6. Табл.: 1. Библ.: 15.

**Жартовський Олександр Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформатики та інженерної графіки, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

**Жартовский Александр Владимирович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики и инженерной графики, Донбасская государственная машиностроительная академия (ул. Академическая, 72, г. Краматорск, 84313, Украина).

**Jartovsky Oleksandr** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Informatics and Engineering Graphics, Donbas state machine-building Academy (72 Academic Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** jaw7491@i.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3919-4941>

**Scopus Author ID:** 15059125500

**Кравченко Валерій Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних інформаційних технологій, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

**Кравченко Валерий Иванович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерных информационных технологий, Донбасская государственная машиностроительная академия (ул. Академическая, 72, г. Краматорск, 84313, Украина).

**Kravchenko Valeriy** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Information Technology, Donbas state machine-building Academy (72 Academic Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** krwkl84@gmail.com

**Ларічкін Олексій Вікторович** – магістрант, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

**Ларичкин Алексей Викторович** – магістрант, Донбасская государственная машиностроительная академия (ул. Академическая, 72, г. Краматорск, 84313, Украина).

**Larichkin Oleksii** – undergraduate, Donbas state machine-building Academy (72 Academic Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** alexeyviclarichkin@gmail.com

**Карягін Жан Геннадійович** – магістрант, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

**Карягин Жан Геннадиевич** – магістрант, Донбасская государственная машиностроительная академия (ул. Академическая, 72, г. Краматорск, 84313, Украина).

**Karyahin Zhan** – undergraduate, Donbas state machine-building Academy (72 Academic Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** slicecookie@gmail.com