

УДК 004.67:004.514:004.91
DOI: 10.18799/29495407/2023/2/18

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО РЕАКТОРА

Герасимов Роман Дмитриевич¹,
rdg2@tpu.ru

Стариков Арсений Дмитриевич¹,
qwekinft@list.ru

Пак Александр Яковлевич¹,
ayapak@tpu.ru

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Актуальность разработки заключается в необходимости решения проблем стандартизации, хранения и цифровизации экспериментальных данных. Ведение журнала наблюдений с автоматизированной обработкой некоторых данных и измерений является важной составляющей в проведении эксперимента. Цифровизация и автоматизация процесса сбора, хранения и обработки данных физического эксперимента позволяет усовершенствовать процесс ведения технической документации, облегчает работу с данными, решает проблему дублирования данных, позволяет унифицировать формат ведения журнала исследований, кроме того, такой подход позволит создавать базы данных, которые могут быть переданы научным партнерам для поиска неочевидных закономерностей. Современным решением является разработка программного комплекса, автоматизирующего сбор и перенос данных в электронный вид, что в том числе уменьшает количество ошибок, связанных с человеческим фактором. Особенно актуален вопрос сбора данных с приборов различных производителей, с отличающимися стандартами, ограниченным сроком поддержки программного обеспечения. Кроме того, в ряде случаев нестандартизированное научное оборудование характеризуется относительно сложным объектом автоматизации ввиду ряда вопросов электромагнитной несовместимости со стандартным измерительным оборудованием, нетипичными условиями эксплуатации измерительного оборудования, что подчеркивает необходимость разработки собственного специализированного программного обеспечения, программно-аппаратных комплексов. **Целью** данной работы является создание программного комплекса, который предназначен для работы с оригинальным плазменным реактором, его вспомогательным измерительным оборудованием с возможностью считывания информации, с одновременным заполнением форм исходных данных и первичных результатов экспериментов по редактируемым шаблонам и хранение их в цифровом виде, для осуществления перехода от рукописного формата ведения журнала эксперимента, а также ручного заполнения таблиц (на примере MS Excel) к автоматизированному, стандартизированному формату. **Объектом** исследования является развитие цифрового документооборота в научной сфере деятельности. **Предмет:** цифровизация журнала экспериментов на плазмохимическом электродуговом реакторе постоянного тока. **Методы:** анализ и оценка уже разработанных решений, а также существующей литературы; создание инструментов для считывания данных с экспериментальных установок, их анализ, а также редактирование форм экспериментов. **Результаты.** Был проведен анализ методов ведения журналов экспериментов, а также выявлены их недостатки. Было предложено решение, позволяющее автоматически переносить некоторые экспериментальные данные в электронный вид, а также структурировать их по созданному пользователем шаблону.

Ключевые слова: сбор данных, визуализация данных, графический интерфейс, обработка данных, методика проведения эксперимента.

Введение

Сбор данных эксперимента является одним из главных этапов проведения опыта [1]. Централизованное и стандартизированное хранение результатов опыта позволяет упростить дальнейший анализ, поиск информации, а также даёт возможность подготовить данные для обучения нейронных сетей с созданием обучающих выборок [2]. Обязательным требованием к проведению любого эксперимента является ведение журнала наблюдений и измерений [3]. Можно вести как письменный (рукописный) журнал, так и электронный. Первый подход обладает рядом недостатков: разные лаборанты ведут журнал по-своему, из-за чего он получается не стандартизированным; ручной анализ полученных результатов, отсутствие единого шаблона, трудности в интерпретации данных; вероятность ошибки оператора при заполнении форм, рассинхронизация процесса проведения эксперимента и получения данных для их обработки, например, при невозможности (заполнение журнала после проведения эксперимента). Альтернативным подходом является ведение электронного журнала. Современные технологии

позволяют автоматизировать и централизовать хранение и обработку данных [4] при относительно невысокой сложности создания специализированного программного обеспечения под имеющуюся задачу. Одним из методов работы в этом направлении является создание базы данных [5]. Такой метод отлично подходит для каталогизирования, поиска и обработки данных. Однако для ведения журналов экспериментов данный подход слишком сложен в реализации и представлении данных. В качестве альтернативного варианта выступают Excel-таблицы или иные таблицы на базе коммерческих продуктов. Они удобны тем, что позволяют наглядно получать информацию, а также их можно хранить как на персональном компьютере, так и на облачном сервере без установки специализированных средств. Данный подход имеет ряд недостатков: для автоматизации нужны специфические знания программирования, которыми обладают не все лаборанты; из-за излишнего набора функционала пользователю трудно быстро разобраться; неудобное внесение большого массива данных. Развитие цифровизации документооборота на предприятиях ведет к разработке но-

вых стандартов и решений [6]. Использование подобных решений в научной области позволит снизить трудозатраты, количество ошибок вследствие человеческого фактора и ускорит процесс обработки данных.

Методы разработки

Реализуемое решение является надстройкой над Excel-таблицами, которая предоставляет удобный и понятный интерфейс, избавляет пользователя от излишних функций, которые не требуются во время работы с конкретной задачей, а также позволяет получить массив данных с оборудования. В работе автоматизировано передавались данные с ряда единиц техники: с действующего оригинального плазмохимического реактора постоянного тока [7], весов «Ньютон ГЛС», пирометра Benetech GM1850, цифрового осциллографа RIGOL DS1052E (далее – оборудование).

Для разработки программы были использованы: интегрированная среда разработки Visual Studio 2022, язык программирования C# и интерфейс программирования

приложений Windows Forms. В отличие от другой платформы, WPF, Windows Forms больше подходит для быстрого создания стабильных графических приложений для операционной системы Windows. Но стоит отметить, что Windows Forms считается устаревающей технологией и обладает меньшими возможностями по сравнению с WPF, однако часто используется как переходный этап.

Для создания Excel-таблиц была выбрана библиотека EPPlus. Она является одной из самых популярных и самых быстрых библиотек для работы с Excel-файлами. Например, стандартная библиотека от Microsoft Office.Interop по результатам серии предварительных тестов работает в среднем в 25 раз медленнее, чем библиотека EPPlus. EPPlus является бесплатной библиотекой, если не использовать её в коммерческих целях.

Работа с весами

По официальной документации передача данных осуществляется по последовательному порту со скоростью 9600 бод/сек по формату, указанному в таблице.

Таблица. Формат передачи данных для весов «Ньютон ГЛС» согласно руководству по эксплуатации

Table. Data transmission format for the Newton GLS scales according to the operating manual

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Type	Space	*/Space	+/-	Data	Data	Data	Dot	Data	Data	Data	Data	Unit1	Unit2	CR	LF

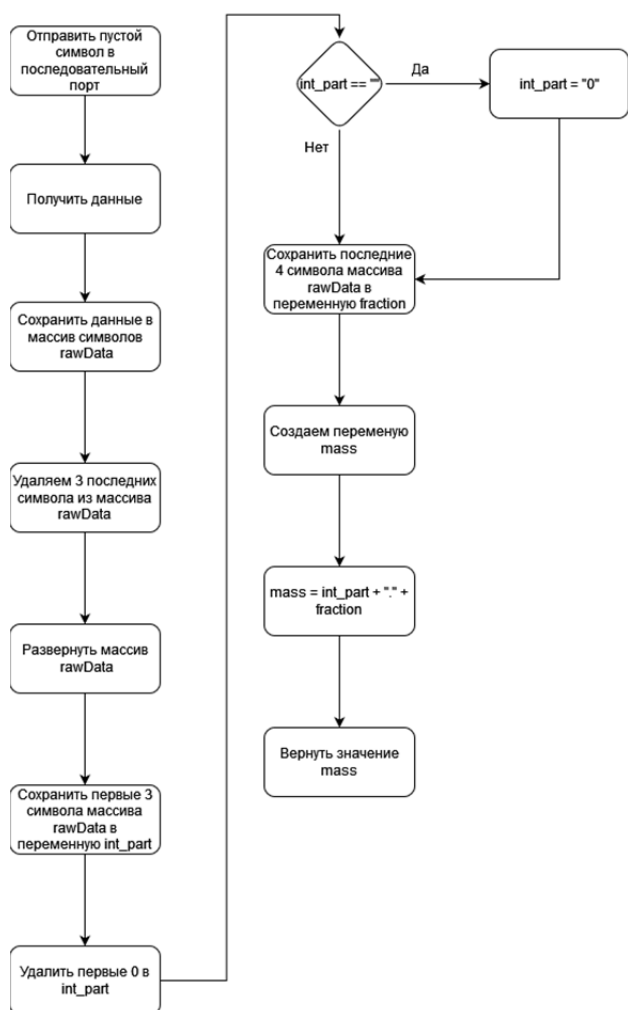


Рис. 1. Алгоритм обработки данных с весов

Fig. 1. Algorithm for processing data from scales

В действительности весы передают значение в развернутом порядке без каких-либо разделительных символов, а именно 0000XXXXXX000, где XXXXXX – значение на весах. Программа автоматически преобразует полученное значение в «массу» алгоритмом, описанным на рис. 1.

Программное считывание значений с весов позволяет не только исключить человеческий фактор при внесении данных в журнал, но и сэкономить время: в среднем лаборанту нужно несколько секунд, чтобы переписать данные вручную, которые, как правило, лаборант округляет самостоятельно. Благодаря данной мере автоматизации можно в два клика правой кнопки мыши за пару миллисекунд записать показания весов.

Работа с пирометром

Для оценки температуры некоторых узлов плазменного реактора в рабочем цикле на имеющейся комплектации используется цифровой пирометр марки Benetech. К данным пирометрам поставляется специализированная программа для работы с данными посредством персонального компьютера. Эта программа обменивается данными с пирометром по последовательному порту с помощью команд со скоростью 9600 бод/сек. Исследовав протокол обмена данными, его можно имплементировать в другой программе. В ходе анализа были применены два метода: считывание данных с помощью микроконтроллера Arduino, мониторинг данных последовательного порта с помощью программы Serial Port Monitor. Первый метод оказался нерабочим, так как давал неточные данные. Serial Port Monitor – программа, которая позволяет читать данные, проходящие через выбранный последовательный порт, не занимая его. С помощью этой программы было обнаружено, что протокол использует три команды:

- «ATQ» – инициализация обмена данных с пирометром;

- «ATR» – запрос данных;
 - «ATU» – прекращение обмена данных.
- Когда пирометр получает команду «ATR», он измеряет температуру и отправляет 9 байтов данных в формате «ATRXXXX0Z», где:
- «XXXX» представляет значение температуры;
 - «0Z» представляет собой символы конца строки.

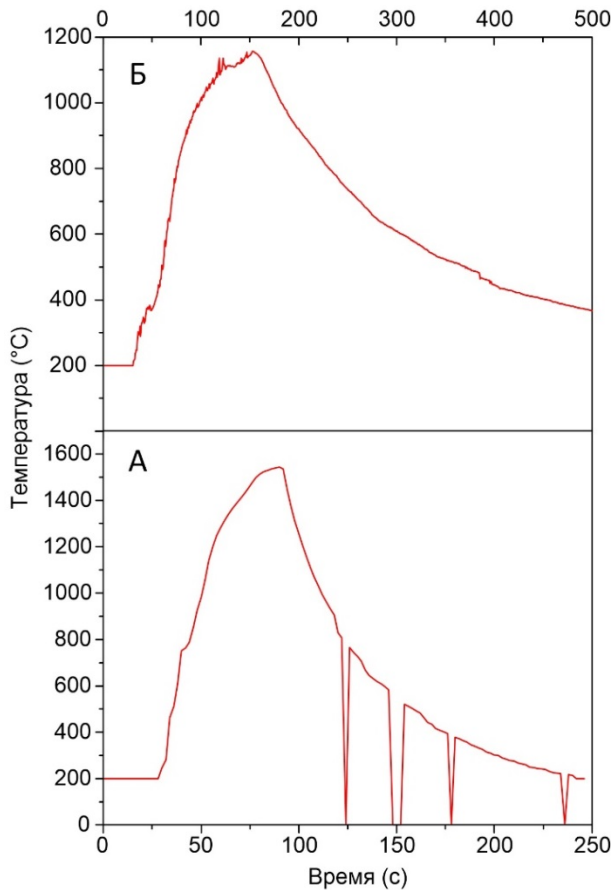


Рис. 2. Типичная зависимость изменения температуры от времени: А) построенная оригинальной программой; Б) построенная разработанной программой

Fig. 2. Typical dependence of temperature change on time: А) plotted by the original program; Б) plotted by the developed program

В оригинальной программе минимальный интервал считывания данных составляет 2 секунды, такая дискретность слишком низка для проводимых исследований на дуговом реакторе. Эксперименты показали, что данный интервал может составлять 0,5 секунд без потери или повреждения данных при опросе оборудования самостоятельно реализованной системой сбора информации. При меньших значениях пирометр перестаёт посылать данные через некоторый промежуток времени. Благодаря более высокой частоте опроса можно получать «более полные» данные о температуре (рис. 2, Б). Кроме того, как можно видеть на рис. 2, А, оригинальная программа обнуляет значение, если данные каким-то образом повреждены. Это может происходить, например, при низком напряжении питания прибора, появлении кондуктивных и индуктивных помех, источником которых яв-

ляется дуговой реактор, на котором и располагается система сбора данных. В целом проблема борьбы с помехами и «просадками» напряжения с цепи питания является известной проблемой подобных устройств (плазменных реакторов). В реализованной программе при получении поврежденных значений происходит повторный запрос данных. Таким образом, самостоятельно созданная система сбора данных с пирометрического измерителя характеризуется улучшенными характеристиками надежности, а именно помехоустойчивостью, а также позволяет получать больший объем данных с повышением дискретности в сравнении со стандартной системой.

Работа с данными осциллографа

Для мониторинга параметров силового разрядного контура в составе регистрирующего комплекса дугового реактора предусмотрена работа осциллографа, который подключается к силовой цепи через датчик тока и делитель напряжения. Данные осциллографа хранятся в файле формата «.csv». В первой ячейке описано, как данные расположены в следующих ячейках. Во второй ячейке описаны единицы измерения. Начиная с третьей ячейки через запятую идут следующие данные: «время», «напряжение» и «ток» (сведения о напряжении на портах, которые подключены к соответствующим датчикам для измерения тока и напряжения исследуемого процесса). Полученные данные необходимо умножить на коэффициенты преобразования датчиков. Данные расчеты проводятся программой автоматически, поскольку все формулы уже описаны в программном коде и на выходе мы получаем приведенные значения. Также автоматически рассчитывается и величина электрической мощности, энергии, средней мощности, которые в базовом сценарии рассчитываются оператором. Полученные значения сохраняются в файл описания результатов эксперимента.

Из-за того что дуговой разряд и выпрямительно-инверторный преобразователь в системе электроснабжения дугового реактора являются источником помех [8], на принимаемые сигналы от датчиков тока и напряжения накладывается шум. Существуют аппаратные методы шумоподавления, однако они не решают задачу полностью, поскольку требуется комплексный подход, например, дополнительная программная обработка сигнала. Для сглаживания шума существует ряд «стандартных программных фильтров», со свойственными достоинствами и недостатками.

Методы простого скользящего среднего являются одной из функций семейства скользящих средних [8–10], которые применяются, например, при исследовании колебаний температуры [11]. Данный метод заключается в том, что для каждой i -й точки считается среднее арифметическое $i-n$ точек. Метод полиномиальной аппроксимации [12] заключается в нахождении полинома n степени, график которого аппроксимирует исходный. Фильтр Савицкого–Голая [13, 14] осуществляет полиномиальную аппроксимацию отдельных кадров по критерию минимума квадратичной ошибки. Фильтр Гаусса [15, 16] рассчитывает взвешенную сумму всех точек внутри интервала с распределением весов по Гауссу. Медианный фильтр [17] осуществляет фильтрацию путем сортировки

значений в диапазоне по убыванию или возрастанию, значение, находящееся в середине упорядоченного списка, является выходным значением. Существуют вариации с использованием весовых коэффициентов [18] и основанные – на адаптивной фильтрации [19]. Экспоненциальное сглаживание [20] можно представить как фильтр, на вход которого последовательно поступают члены исходного ряда, а на выходе формируются текущие значения экспоненциальной средней.

Указанные методы были апробированы на одной из осциллограмм при разных параметрах обработки (рис. 3).

Метод полиномиальной аппроксимации признан не приемлемым, так как значительно искажает результат измерений. Как можно видеть, фильтр Савицкого–Голая показал лучший результат, но стоит отметить, что график (осциллограмма) силы тока получился недостаточно сглаженным. При других коэффициентах плато, возникающее при коротком замыкании, смещается во времени, что также недопустимо. Предлагается следующее решение данной проблемы: по максимальным значениям силы тока определяется промежуток короткого замыкания, к которому отдельно применяется фильтр Савицкого–Голая.

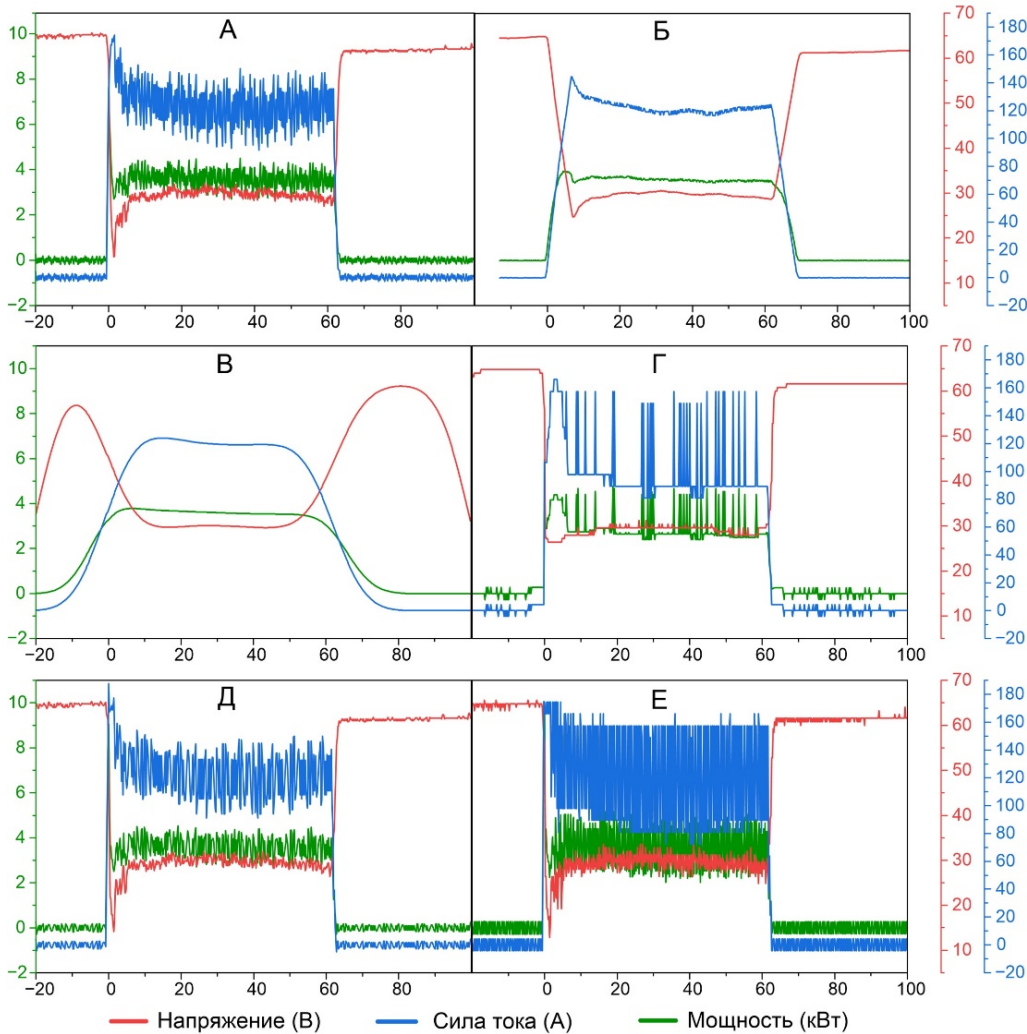


Рис. 3. Осциллограмма: А) обработанная экспоненциальным фильтром; Б) обработанная методом простого скользящего среднего; В) обработанная функцией Гаусса; Г) обработанная медианным фильтром; Д) обработанная фильтром Савицкого–Голая; Е) исходные данные осциллограммы

Fig. 3. Oscillogram: А) processed with an exponential filter; Б) processed by the simple moving average method; В) processed by the Gaussian function; Г) processed by a median filter; Д) processed by the Savitsky–Golai filter; Е) initial data of the oscillogram

Автоматический подход позволяет лаборанту, только лишь загрузив файлы, построить график тока, напряжения и мощности. В противном случае пользователю нужно проделывать все шаги обработки самостоятельно, что занимает некоторое время и не исключает ошибок при обработке большого массива данных. Простейшая программная обработка данных позволила избавить оператора от рутинной работы обработки типовых осциллограмм, а также улучшить параметры сигнала.

Хранение данных экспериментов

Хранение данных эксперимента реализует класс ExperimentData. В нём хранятся: название эксперимента, комментарии к эксперименту, поля данных и данные с различных единиц оборудования. Для хранения данных экспериментов на компьютере мы десериализуем класс ExperimentData с помощью библиотеки Newtonsoft.Json и сохраняем результат в файл с расширением «.exp». Чтение

данных с файла реализуется с помощью сериализации в класс ExperimentData. Такой способ позволяет реализовать сохранение и считывание данных эксперимента из файла, а также проверку на валидность. Главным недостатком такого метода является увеличенный размер файла. Но на практике средний размер файла эксперимента с данными с «оборудования» занимает 2–3 Кб памяти, что не является критичным.

Разработанный комплекс позволяет преобразовать входные данные в таблицы Excel, что упрощает работу с ними и позволяет использовать их для машинного анализа, а также обеспечивает централизованное хранение и сбор данных с различных единиц оборудования. Первичная обработка экспериментальных данных перенимает часть рутинных действий лаборанта, что уменьшает количество времени, необходимого на первичную обработку данных, а также возможные ошибки. Кроме того, реализованные решения позволили повысить надежность измерительных систем и частично решить проблему зашумления полезных сигналов. В дальнейшем планируется разработка модуля для хранения результатов анализа продуктов синтеза, являющихся результатом работы дугового реактора, в частности, данных рентгеновской дифрактометрии, электронной микроскопии для интеграции всех имеющихся данных о проведении синтеза того или иного материала, результатах анализа его и структуры, свойств, что позволит вести комплексную оценку результатов эксперимента, в том числе с созданием обучающих

выборки для последующей обработки данных нейронными сетями.

Заключение

Представленное программное обеспечение позволяет создавать и хранить результаты физических экспериментов. На текущем этапе программа может работать с плазмохимическим реактором, пирометром «Benetech GM1850», весами «Ньютон ГЛС», осциллографом «RIGOL DS1052E» и позволяет интегрировать исходные данные эксперимента и его первичные результаты с автоматизированной обработкой.

Программа предоставляет пользователю удобную систему отчетов, благодаря которой полученные данные становятся более пригодными для ручного и автоматического анализа. В дальнейшем планируется расширить список единиц (типов) подключаемого оборудования благодаря созданию модульной системы, когда пользователь может скачать модуль для работы с нужной научной установкой. Также планируется на основе созданных серий экспериментов создавать базу данных для обучения нейронной сети и реализации предиктивной аналитики результатов экспериментов. Подобная система строится впервые для созданного в Томском политехническом университете оригинального безвакуумного электродугового реактора постоянного тока.

Работа выполнена в рамках Государственного задания «Наука» (проект FSWW-2023-0011).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hicks Ch.R., Turner Jr. K.V. Fundamental concepts in the design of experiments. – Oxford: Oxford University Press, 1999. – 576 p.
2. Жанаева С.Б. К вопросу о подготовке данных при разработке модели нейронной сети // Вестник СибГУТИ. – 2022. – № 4. – С. 69–79. DOI: 10.55648/1998-6920-2022-16-4-69-79.
3. Григораш О.В. Методология экспериментальных исследований // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 127 (03). – С. 1–16. DOI: 10.21515/1990-4665-127-059.
4. Adding centralized electronic patient-reported outcome data collection to an established international clinical outcomes registry / R. Cusatis, K.E. Flynn, S. Vasu et al. // Transplantation and Cellular Therapy. – 2022. – V. 28. – № 2. – P. 1–9. DOI: 10.1016/j.jct.2021.10.016.
5. Using GRanD database and surface water data to constrain area-storage curve of reservoirs / M. Mu, Q. Tang, S. Han, X. Liu, H. Cui // Water. – 2020. – V. 12. – P. 1242. DOI: 10.3390/w12051242.
6. Новый этап развития цифровизации документооборота – работа с проектной документацией в формате XML / В.И. Денисов, О.Н. Луценко, В.В. Лапковская, Н.М. Тепляков // Известия ТПУ. Промышленная кибернетика. – 2023. – Т. 1. – № 1. – С. 17–23. URL: <https://indcyb.ru/journal/article/view/5/3> (дата обращения: 21.07.2023).
7. Vacuumless synthesis of tungsten carbide in a self-shielding atmospheric plasma of DC arc discharge / A.Ya. Pak, I.I. Shanenkov, G.Y. Mamontov, A.I. Kokorina // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2020. – V. 93. – P. 105343. DOI: 10.1016/j.jrmhm.2020.105343.
8. Analysis of arc welding process using Digital Storage Oscilloscope / V. Kumar, N. Chandrasekar, S.K. Albert, J. Jayapandian // Measurement. – 2016. – V. 81. – P. 1–12. DOI: 10.1016/j.measurement.2015.11.031.
9. Moving average-based mitigation of exponentially decaying DC components / T.S. Menezes, R.A.S. Fernandes, D.V. Coury // Electric Power Systems Research. – 2023. – V. – 220. – P. 109280 DOI: 10.1016/j.epsr.2023.109280.
10. Internal quality control: moving average algorithms outperform Westgard rules / D.K.H. Poh, C.Y. Lim, R.Z. Tan et al. // Clinical Biochemistry. – 2021. – V. 98. – P. 63–69. DOI: 10.1016/j.clinbiochem.2021.09.007.
11. Моделирование эластокалорических эффектов в сплавах Гейслера / Л.С. Метлов, В.В. Коледов, В.Г. Шавров, Е.В. Морозов, Ю.В. Тихтелева, С.В. Таскаев // Челябинский физико-математический журнал. – 2020. – Т. 5. – № 4 (2). – С. 592–600. DOI: 10.47475/2500-0101-2020-15418.
12. Егорова А.А., Сергеев В.В. Система признаков для расширенного суперпиксельного представления изображений // Компьютерная оптика. – 2021. – Т. 45. – № 4. – С. 562–574. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-876.
13. Жегулин Г.В., Зимин А.В. Применение биспектрального вейвлет-анализа для поиска трехволновых взаимодействий в спектре внутренних волн // Морской гидрофизический журнал. – 2021. – Т. 37. – № 2. – С. 147–161. DOI: 10.22449/0233-7584-2021-2-147-161.
14. Zuo B., Junsheng C., Zhang Z. Degradation prediction model for proton exchange membrane fuel cells based on long short-term memory neural network and Savitzky–Golay filter // International Journal of Hydrogen Energy. – 2021. – V. 46. – № 29. – P. 15928–15937. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.02.069.
15. Система распознавания объектов с использованием теории активного восприятия / В.Е. Гай, А.В. Смирнов, Р.О. Баринков, И.В. Поляков, В.А. Голубенко, Г.Д. Кузнецов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2022. – № 4 (28). – С. 201–212. DOI: 10.38028/ESI.2022.28.4.016.
16. On the mitigation of the RAPID algorithm uneven sensing network issue employing averaging and Gaussian blur filtering techniques / A. Gonzalez-Jimenez, L. Lomazzi, F. Cadini et al. // Composite Structures. – 2021. – V. 278. – P. 114716. DOI: 10.1016/j.compstruct.2021.114716.
17. Extended neighborhood-based road and median filter for impulse noise removal from depth map / S. Li, X. Bi, Y. Zhao, H. Bi // Image and Vision Computing. – 2023. – V. 135. – P. 104709. DOI: 10.1016/j.imavis.2023.104709.
18. Ko S.-J., Lee Y.H. Center weighted median filters and their applications to image enhancement // IEEE Transactions on Circuits and Systems. – 1991. – V. 38. – № 9. – P. 984–993. DOI: 10.1109/31.83870.

19. Wang Z., Zhang D. Progressive switching median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted images // IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing. – 1999. – V. 46. – № 1. – P. 78–80. DOI: 10.1109/82.749102.
20. Бальжинимаева Х.В. Опыт построения прогностической модели объема продаж товара продуктового назначения // Инновационная наука. – 2022. – № 2-1. – С. 34–37.

Поступила: 12.08.2023 г.

Принята после рецензирования: 20.09.2023 г.

Информация об авторах

Герасимов Р.Д., младший научный сотрудник лаборатории перспективных материалов энергетической отрасли Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Стариков А.Д., учащийся лицея при Томском политехническом университете.

Пак А.Я., доктор технических наук, профессор отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета.

УДК 004.67:004.514:004.91
DOI: 10.18799/29495407/2023/2/18

ELECTRONIC JOURNAL OF EXPERIMENTS FOR ELECTRIC ARC REACTOR

Roman D. Gerasimov¹,
rdg2@tpu.ru

Arseny D. Starikov¹,
qwekinaft@list.ru

Alexander Ya. Pak¹,
ayapak@tpu.ru

¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

The relevance of the development lies in the necessity to solve the problems of standardization, storage and digitalization of experimental data. Keeping an observation log with automated processing of some data and measurements is an important component in conducting an experiment. Digitalization and automation of collecting, storing and processing data from a physical experiment allows you to improve the process of maintaining technical documentation, facilitates working with data, solves the problem of data duplication, allows unification of research log format, in addition, this approach will allow you to create databases that can be transferred to scientific partners to search for implicit patterns. A modern solution is the development of a software package that automates the collection and transfer of data into electronic form, which also reduces the number of errors associated with the human factor. The issue of collecting data from devices of different manufacturers, with different standards, and limited software support is especially relevant. In addition, in a number of cases, non-standardized scientific equipment is characterized by a relatively complex automation object due to a number of issues of electromagnetic incompatibility with standard measuring equipment, atypical operating conditions of the measuring equipment, which emphasizes the need to develop our own specialized software and hardware and software systems. **The purpose** of this work is to create a software package that is designed to work with the original plasma reactor, its auxiliary measuring equipment with the ability to read information, and simultaneously filling out forms of initial data and primary experimental results using editable templates and storing them in digital form, to make the transition from a handwritten format for keeping an experiment log, as well as manually filling out tables (using MS Excel as an example) to an automated, standardized format. **The object** of the study is the development of digital document management in the scientific field of activity. **Subject:** digitalization of the journal of experiments on a DC plasma-chemical electric arc reactor. **Methods:** analysis and evaluation of already developed solutions, as well as existing literature; creation of tools for reading data from experimental installations, their analysis, as well as editing experimental forms. **Results.** The methods for maintaining experimental logs were analyzed, and their shortcomings were identified. A solution was proposed that allows some experimental data to be automatically transferred into electronic form, as well as standardizing it according to a user-created template.

Key words: data collection, data visualization, graphical interface, data processing, experimental methodology.

The work was carried out within the framework of the State assignment «Science» (project FSWW-2023-0011).

REFERENCES

- Hicks Ch.R., Turner Jr. K.V. *Fundamental concepts in the design of experiments*. Oxford, Oxford University Press, 1999. 576 p.
- Zhanaeva S.B. Data preparation for a neural network model. *The Herald of the Siberian State University of Telecommunications and Information Science*, 2022, no. 4, pp. 69–79. In Rus. DOI: 10.55648/1998-6920-2022-16-4-69-79.
- Grigorash O.V. Methodology of experimental research. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, 2017, no. 127 (03), pp. 1–16. In Rus. DOI: 10.21515/1990-4665-127-059.
- Cusatis R., Flynn K.E., Vasu S. Adding centralized electronic patient-reported outcome data collection to an established international clinical outcomes registry. *Transplantation and Cellular Therapy*, 2022, vol. 28, no. 2, pp. 1–9. DOI: 10.1016/j.jtct.2021.10.016.
- Mu M., Tang Q., Han S., Liu X., Cui H. Using GRaND database and surface water data to constrain area-storage curve of reservoirs. *Water*, 2020, vol. 12, pp. 1242. DOI: 10.3390/w12051242.
- Denisov V.I., Lutsenko O.N., Lapkovskaya V.V., Teplyakov N.M. New stage of automation document flow development – working with project documentation in xml format. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Industrial cybernetics*, 2023, vol. 1, no. 1, pp. 17–23. In Rus. Available at: <https://indcyb.ru/journal/article/view/5/3> (accessed: 21 July 2023).
- Pak A.Ya., Shanenkov I.I., Mamontov G.Y., Kokorina A.I. Vacuum-less synthesis of tungsten carbide in a self-shielding atmospheric plasma of DC arc discharge. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 2020, vol. 93, pp. 105343. DOI: 10.1016/j.jrmhm.2020.105343.
- Kumar V., Chandrasekhar N., Albert S.K., Jayapandian J. Analysis of arc welding process using Digital Storage Oscilloscope, *Measurement*, 2016, vol. 81, pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.measurement.2015.11.031.
- Menezes T.S., Fernandes R.A.S., Coury D.V. Moving average-based mitigation of exponentially decaying DC components, *Electric Power Systems Research*, 2023, vol. 220, pp. 109280. DOI: 10.1016/j.epsr.2023.109280.
- Poh D.K.H., Lim C.Y., Tan R.Z. Internal quality control: moving average algorithms outperform Westgard rules. *Clinical Biochemistry*, 2021, vol. 98, pp. 63–69. DOI: 10.1016/j.clinbiochem.2021.09.007.
- Metlov L.S., Koledov V.V., Shavrov V.G., Morozov E.V., Tekhtev Yu.V., Taskaev S.V. Simulation of elasto-caloric effects in Heusler alloys. *Chelyab. Fiz.-Mat. Zh.*, 2020, vol. 5, no. 4 (2), pp. 592–600. In Rus. DOI: 10.47475/2500-0101-2020-15418.
- Egorova A.A., Sergeyev V.V. Extended set of superpixel features. *Computer Optics*, 2021, vol. 45, no. 4, pp. 562–574. In Rus. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-876.
- Zhegulin G.V., Zimin A.V. Application of the Bispectral Wavelet analysis for searching three-wave interactions in the spectrum of internal waves. *Morskoy Gidrofizicheskij Zhurnal*, 2021, vol. 37, no. 2, pp. 147–161. In Rus. DOI: 10.22449/0233-7584-2021-2-147-161.
- Zuo B., Junsheng C., Zhang Z. Degradation prediction model for proton exchange membrane fuel cells based on long short-term memory neural network and Savitzky–Golay filter. *International Journal of Hy-*

- drogen Energy*, 2021, vol. 46, no. 29, pp. 15928–15937. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.02.069.
15. Gai V.E., Smirnov A.V., Barinov R.O., Polyakov I.V., Golubenko V.A., Kuznetsov G.D. Object recognition system using theory of active perception. *Information and mathematical technologies in science and management*, 2022, no. 4 (28), pp. 201–212. In Rus. DOI: 10.38028/ESI.2022.28.4.016.
 16. Gonzalez-Jimenez A., Lomazzi L., Cadini F. On the mitigation of the RAPID algorithm uneven sensing network issue employing averaging and Gaussian blur filtering techniques. *Composite Structures*, 2021, vol. 278, pp. 114716. DOI: 10.1016/j.compstruct.2021.114716.
 17. Li S., Bi X., Zhao Y., Bi H. Extended neighborhood-based road and median filter for impulse noise removal from depth map. *Image and Vision Computing*, 2023, vol. 135, pp. 104709. DOI: 10.1016/j.imavis.2023.104709.
 18. Ko S.-J., Lee Y.H. Center weighted median filters and their applications to image enhancement. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 1991, vol. 38, no. 9, pp. 984–993. DOI: 10.1109/31.83870.
 19. Wang Z., Zhang D. Progressive switching median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted images. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, 1999, vol. 46, no. 1, pp. 78–80. DOI: 10.1109/82.749102.
 20. Balzhinimaeva Kh.V. Opyt postroyeniya prognosticheskoy modeli obyema prodazh tovara produktovogo naznacheniya [Experience in constructing a predictive model of sales volume of grocery goods]. *Innovatsionnaya nauka*, 2022, no. 2-1, pp. 34–37.

Received: 12 August 2023.
Reviewed: 20 September 2023.

Information about the authors

Roman D. Gerasimov, junior researcher, National Research Tomsk Polytechnic University.
Arseny Dm. Starikov, student, Lyceum at Tomsk Polytechnic University.
Alexander Ya. Pak, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.