

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ  
АКАДЕМИЯ

КОВГАН АРТУР ГЕННАДЬЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ  
УСТАНОВКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЕЁ НАДЕЖНОСТИ  
И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Автореферат квалификационной работы  
на получение степени магистра по специальности  
«Автоматизированное управление технологическими процессами»

Краматорск - 2015

Автореферат является рукописью.

Работа выполнена на кафедре автоматизации производственных процессов Донбасской государственной машиностроительной академии.

Научный руководитель      доцент кафедры АПП  
Цыганаш Виктор Евграфович.  
Донбасской государственной  
машиностроительной академии

Защита квалификационной магистерской работы состоится 25 декабря 2015 года, в 14.00, на заседании специализированной ученой комиссии в Донбасской государственной машиностроительной академии.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Обработке металлических поверхностей электрическим током посвящено большое количество экспериментальных исследований и теоретических работ. Особое место среди них занимает обработка импульсным электрическим током. Воздействия импульсного электрического тока на металлические поверхности весьма разнообразно и еще недостаточно изучено. Известно, что электрический взрыв проводников в плотных конденсированных средах может использоваться в промышленности как источник высокоэнергетических импульсных давлений, под воздействием которых обрабатываемые материалы могут изменять свои структурные свойства, подвергаться разрушению, формообразованию и т.д.

Существует малое количество реальных устройств для проведения электрофизического упрочнения металлических изделий импульсным электрическим током, поэтому разработка новых типов таких устройств является актуальной.

**Связь работы с научными программами, планами, темами.** Исследования по теме квалификационной магистерской работы выполнялись на реально существующем оборудовании в соответствии с научно-исследовательской тематикой кафедры автоматизации производственных процессов Донбасской государственной машиностроительной академии (ДГМА).

**Объект исследования.** Экспериментальная установка для электрофизического упрочнения металлических изделий.

**Предмет исследования.** Переходные процессы экспериментальной установки для электрофизического упрочнения металлических изделий.

**Методы исследований.** Исследования переходных процессов экспериментальной установки для электрофизического упрочнения металлических изделий велись с помощью цифрового осциллографа с последующей обработкой данных в специализированном программном

обеспечении. Для расширения выборки данных, полученных экспериментальным путем, был применен математический метод аналитического выравнивания, а именно – метод наименьших квадратов.

**Задачи исследования.** Задачи исследования заключаются в следующем:

- исследование электрических схем экспериментальной установки на предмет наименее надежных её звеньев;
- исследование переходных процессов экспериментальной установки с целью обнаружения факторов, требующих коррекции;
- поиск способов повышения надежности и производительности экспериментальной установки;
- обеспечение более качественного вида электрических импульсов, тем самым повысить надежность и производительность экспериментальной установки;
- проведение модернизации наименее надежных звеньев установки для электрофизического упрочнения металлических изделий.

**Цель исследования.** Повышение производительности и надежности экспериментальной установки для электрофизического упрочнения металлических изделий.

**Научная новизна.** Полученные параметры выходного импульса экспериментальной установки превосходят параметры существующих установок подобного назначения по амплитуде и скорости нарастания силы тока, что в перспективе позволит провести ряд экспериментальных исследований на металлических поверхностях. Были применены новые методы исследования и последующей обработки экспериментальных данных в сфере электроимпульсных установок.

**Практическое значение полученных результатов** заключается в том, что полученная форма электрических импульсов при тех же входных параметрах позволяет получать существенно большие значения энергии на выходе, что положительным образом скажется на производительности экспериментальной

установки. Кроме того, ряд введенных изменений в электрические схемы установки позволил повысить её надежность.

**Личный вклад соискателя.** Личный вклад соискателя состоит в формулировании цели и задач работы; проведении теоретических и экспериментальных исследований; проведении работ по модернизации экспериментальной установки; проведении математической обработки полученных экспериментальных данных.

**Апробация результатов работы.** Основные положения и результаты работы докладывались на Всеукраинском конкурсе студенческих научных работ с дисциплины «Электрические машины и аппараты» в КрНУ им. Михаила Остроградского (г. Кременчуг, 17-е марта 2015 г.), где были отмечены дипломом III-ей степени.».

**Публикации.** По теме магистерской работы опубликовано 2 статьи: в специализированном сборнике научных трудов «Вестник ДГМА» и в специализированном сборнике научных трудов «Научный вестник ДГМА».

**Структура и объем квалификационной магистерской работы.** Квалификационная работа магистра состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Основная часть работы составляет 95 страниц, на 2 страницах приведен список использованных источников, на 1 странице изложены приложения. Текст содержит 12 таблиц, 31 рисунок.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы магистерской работы, сформулирована ее цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы. Приведён личный вклад соискателя и количество публикаций.

**В первом разделе** рассмотрены существующие методы исследования энергии электрического взрыва, различные методы электрофизической обработки металлов, используемые для этих целей установки, а также сферы применения экспериментальной установки для электрофизического упрочнения металлических изделий. Представлены основные узлы исследуемой экспериментальной установки, а также описан принцип её действия. Определены цель и задачи исследования.

Анализ методов исследования выделения энергии электрического взрыва показал, что наиболее важной составляющей, т.н. электрического взрыва является Пинч-Эффект – эффект сжатия, стягивания сильноточного газового разряда (плазменного образования) в результате взаимодействия тока разряда с магнитным полем, собственным или внешним. В ходе данного анализа была также рассмотрена типовая схема для электроимпульсных установок.

Анализ существующих методов электрофизической обработки металлов показал, что наряду с электроискровым и электроэрозионным методом обработки, электроимпульсный метод все еще является недостаточно изученным, из-за чего не имеет широкого применения в производстве.

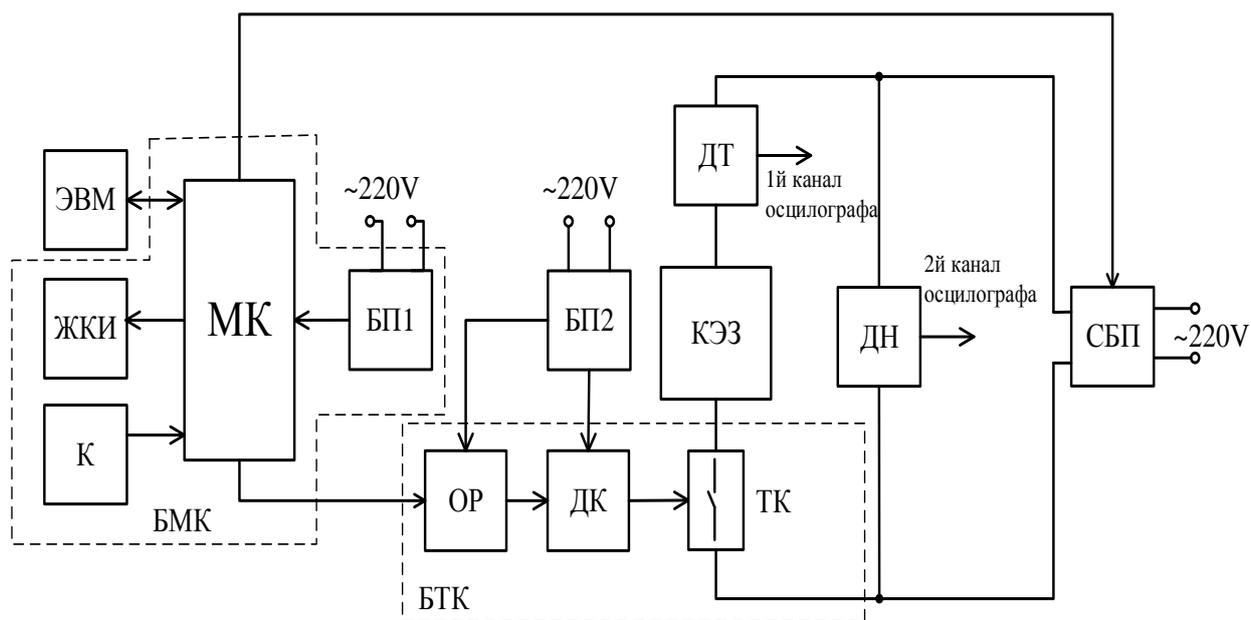
Анализ существующих установок показал возможные условия для проведения электрофизической обработки металлических изделий, а также применяемые методы исследования и обработки экспериментальных данных.

В ходе исследования сферы применения экспериментальной установки для электрофизического упрочнения металлических изделий стало известно, что на сегодняшний день был получен большой экспериментальный и теоретический

материал, касающийся электроимпульсной обработки металлических изделий, однако некоторые вопросы до настоящего времени остаются малоизученными. Помимо упрочнения металлических изделий, интересным остается вопрос создания новых материалов или упрочняющих покрытий, которые нашли-бы свое применение в металлообработке.

На данный момент существует большое количество исследований, посвященных данной проблеме в работах Г.А. Месяца, Троицкого О.А., Баранова Ю.В. и других учёных.

С учетом принятого метода измерения выходных характеристик экспериментальной установки была разработана её структурная схема, которая представлена на рисунке 1.



*БМК – блок микроконтроллера; МК – микроконтроллер; БТК – блок транзисторного ключа; ОР – оптронная развязка; ТК – транзисторный ключ; ДК – драйвер транзисторного ключа; КЭЗ – контакт «электрод-заготовка»; БП – блоки питания электроники; СБП – силовой блок питания; ЭВМ – электронно-вычислительная машина; ЖКИ-жидкокристаллический индикатор; К-клавиатура; ДТ-место измерения тока; ДН-место измерения напряжения.*

Рисунок 1 – Структурная схема экспериментальной установки

На основании выполненного анализа существующих экспериментальных установок, сфер их применения, а также методов исследования их параметров, в работе поставлены задачи исследования.

**Второй раздел магистерской работы** посвящён исследованию выходных характеристик экспериментальной установки для электрофизического упрочнения металлических изделий, а также анализу её недостатков.

Основными величинами, характеризующими показатели работы исследуемой экспериментальной установки, являются величины силы тока и напряжения, получаемые в месте контакта электрода и заготовки. Для имитации элемента «контакт электрод-заготовка» было принято решение использовать нагрузки в виде резистора с известной и постоянной величиной сопротивления. Для исследования выходных характеристик имеющейся экспериментальной установки для электрофизического упрочнения металлических изделий было принято решение использовать цифровой осциллограф. Для получения наиболее точных и достоверных данных о выходных характеристиках работы экспериментальной установки для электрофизического упрочнения металлических изделий было принято решение проводить по три измерения для каждого доступного нам входного напряжения на трансформаторе, а также для нескольких длительностей электрического импульса.

В результате проведенных исследований был получен ряд графиков, характеризующих выходные характеристики экспериментальной установки при различных значениях длительности импульса и входного напряжения.

Имея данные о величинах тока и напряжения в исследуемых импульсах электрического тока были получены данные об энергии, выделенной в импульсах при различных входных параметрах установки. Зависимость энергии, выделенной на нагрузке от напряжения на вторичной обмотке трансформатора приведена на рисунке 2. Вид электрического импульса экспериментальной установки при длительности  $t=25$  мкс и напряжения источника питания равном  $U_{вх} = 58В$  представлен на рисунке 3.

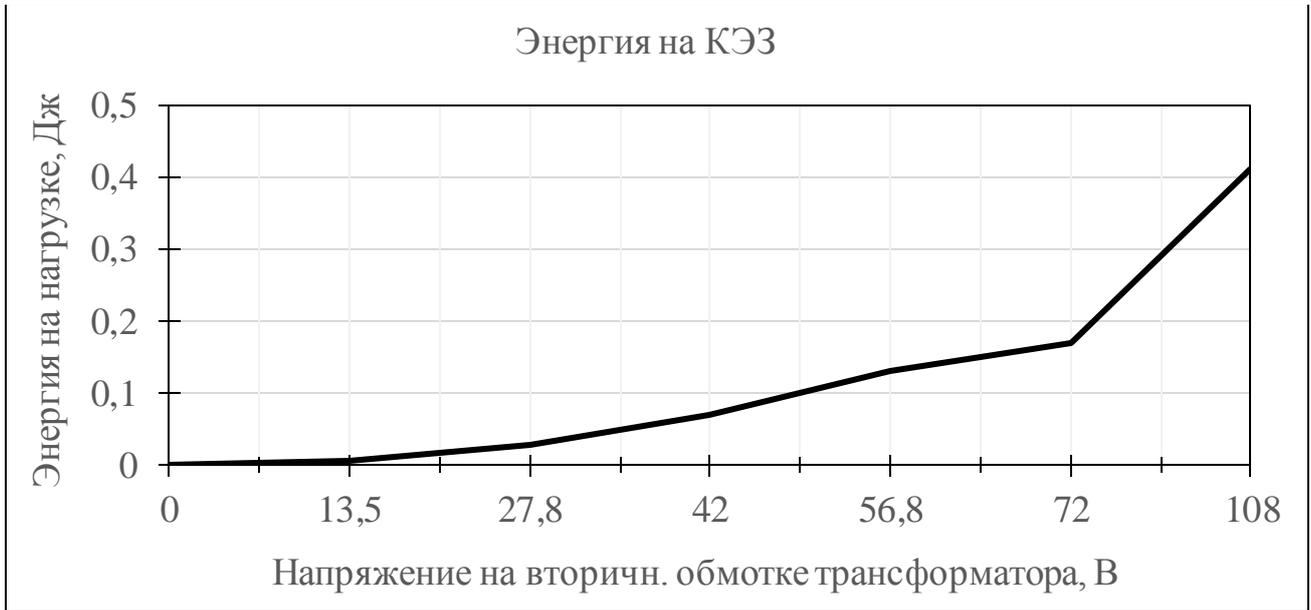
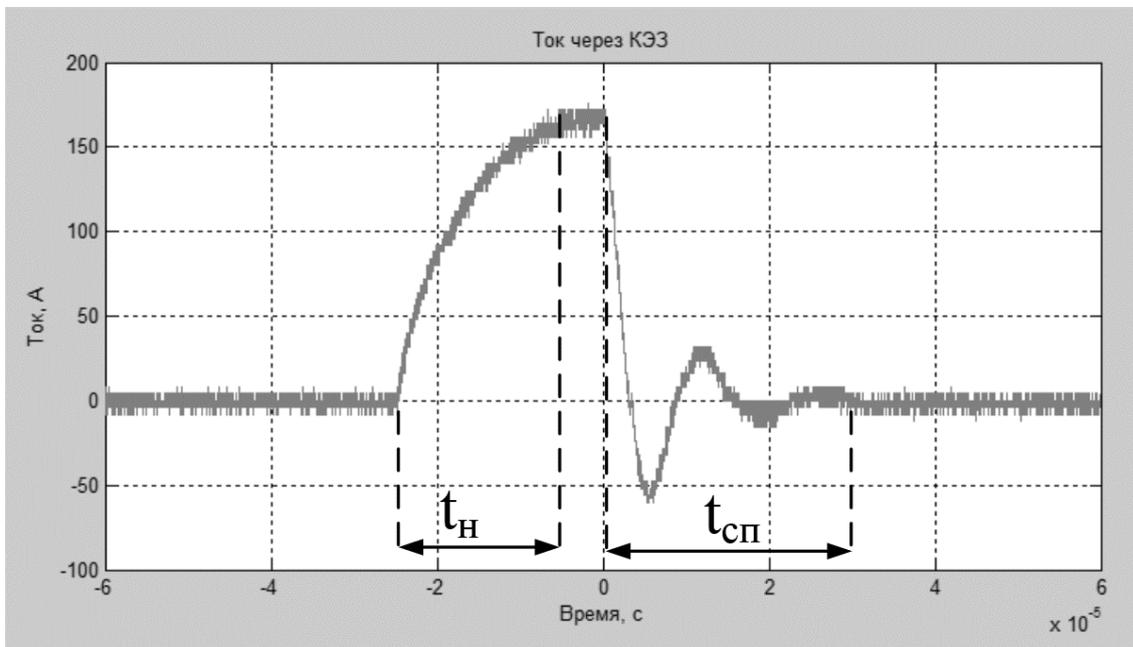


Рисунок 2 – Зависимость энергии, выделенной на нагрузке от напряжения на вторичной обмотке трансформатора



$t_n$  – Время нарастания импульса;  $t_{сп}$  – Время спада импульса.

Рисунок 3 – Вид электрического импульса экспериментальной установки при длительности  $t=25$  мкс и напряжения источника питания равном  $U_{вх} = 58В$

В ходе исследования работы экспериментальной установки для электрофизического упрочнения металлических изделий были обнаружены следующие недостатки, которые отрицательным образом влияли на надежность работы установки в целом:

- высокая вероятность выхода транзисторов из строя;
- наличие вредоносного отрицательного участка напряжения в импульсе;
- слишком медленные переходные процессы нарастания и спада электрических импульсов;
- возможность выведения стабилитронов из строя в случае несоблюдения полярности подведения питания к БТК.

В ходе более детального рассмотрения выявленных недостатков также был обнаружен ряд причин, которые могли отрицательным образом влиять на работу силовой схемы и схемы управления экспериментальной установки.

**Третий раздел магистерской работы** посвящён исследованию причин неудовлетворительной работы экспериментальной установки, их решению, а также проведению работ по модернизации её аппаратной части. По завершению работ по усовершенствованию установки были проведены повторные исследования её выходных характеристик и сделаны соответствующие выводы.

Для повышения надежности экспериментальной установки в схему блока транзисторных ключей экспериментальной установки были введены следующие модификации:

- увеличено количество транзисторов в 2 раза, что снижает токовую нагрузку на каждый из электронных ключей и препятствует их перегрузке, а также перегреву;
- повышена проводимость токопроводящих дорожек на схеме соединения электрических ключей БТК;
- используемая ранее схема параллельного включения полупроводниковых транзисторов была плохо сбалансирована, что приводило к

неравномерному распределению токовой нагрузки на электронных ключах БТК. Для балансировки схемы БТК все транзисторы были оснащены дополнительным сопротивлением в эмиттерной цепи, которые препятствуют резкому возрастанию тока на одних ключах при простое остальных;

- в схему питания преобразователя импульсов был введен полупроводниковый диод, благодаря которому смена полярности блока питания не способна вывести стабилизаторы напряжения схемы из строя;

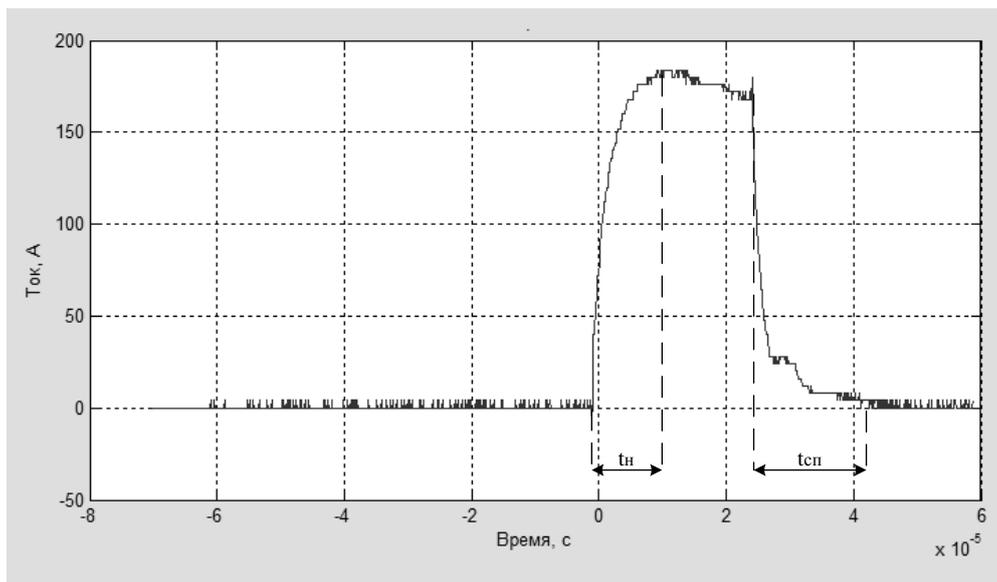
- для уничтожения отрицательного участка напряжения в зоне контакта электрод-заготовка в схему был введен мощный полупроводниковый диод, препятствующий прохождению через необходимый участок цепи отрицательного напряжения;

- для повышения скорости переходных процессов нарастания и спада электрических импульсов была произведена реконфигурация схемы, что позволило втрое уменьшить общую длину используемых в экспериментальной установке проводников, которые играли роль вредоносной для работы установки дополнительной индуктивности.

Проведя ряд экспериментальных исследований были получены точные данные, описывающие выходные параметры работы экспериментальной установки в определенном диапазоне используемого напряжения на трансформаторе силового блока питания. Полученные данные показали повышение качества выходных характеристик экспериментальной установки, что сказалось на повышении уровня максимальной амплитуды импульса и существенном увеличении скорости его нарастания. Вид электрического импульса экспериментальной установки при входном напряжении равном 58 В и длительности управляющего сигнала равном 25 мкс представлен на рисунке 4.

Для получения полноценной выборки данных, которая бы максимально точно отображала выходные характеристики экспериментальной установки не только в пределах допустимых для измерения значений электрических сигналов, но также и во всей области возможных режимов работы установки, был также

выведен ряд уравнений, которые смогли описать зависимости, полученные в ходе практических исследований.



$t_n$  – Время нарастания импульса;  $t_{сп}$  – Время спада импульса.

Рисунок 4 – Вид электрического импульса установки при входном напряжении равном 58 В и длительности управляющего сигнала равном 25 мкс

**В четвёртом разделе** выполнено технико-экономическое обоснование проекта. Экономический эффект достигается за счёт того, что модернизированная установка для электрофизической обработки металлических изделий является намного более устойчивой к длительным процессам обработки и способна выдерживать большие значения силы тока, протекающего через блок транзисторных ключей. Это снижает вероятность выхода электронных ключей из строя, что снижает затраты на покупку сменных запчастей, работу по ремонту, а также препятствует слишком частому простоям оборудования на производстве. Кроме того, новая форма электрического импульса снижает потери энергии, что свидетельствует о повышении КПД установки, а соответственно и повышению её производительности.

**В пятом разделе** проанализированы опасные и вредные производственные факторы при обслуживании экспериментальной установки для электрофизического упрочнения металлических изделий. Преобладающими среди них являются возможность воздействия электрического тока, возможность возгорания, повышенные уровни шума, пыль, выделение паров и газов.

Разработаны мероприятия по обеспечению безопасных условий труда.

Произведен расчет системы защитного заземления, которая удовлетворяет нормативным требованиям.

Разработаны мероприятия, направленные на повышение устойчивости работы проектируемого объекта, в случае взрыва.

## **ВЫВОДЫ**

В данной работе была достигнута цель – повышение производительности и надежности экспериментальной установки для электрофизического упрочнения металлических изделий. Для достижения обозначенной цели были выполнены такие задачи, как исследование электрических схем экспериментальной установки на предмет наименее надежных её звеньев; исследование переходных процессов экспериментальной установки с целью обнаружения факторов, требующих коррекции; поиск способов повышения надежности и производительности экспериментальной установки; обеспечение более качественного вида электрических импульсов, тем самым повысить надежность и производительность экспериментальной установки; проведение модернизации наименее надежных звеньев установки для электрофизического упрочнения металлических изделий.

На основании анализа технологического процесса и обзора литературных источников по данной теме, было установлено, что сфера электроимпульсной обработки металлических изделий все еще остается недостаточно изученной, но при этом все имеющиеся результаты исследований говорят о существенном

повышении качественных характеристик обрабатываемых металлических изделий.

Для обнаружения недостатков существующей экспериментальной установки был проведен ряд экспериментальных исследований, после чего был проведен анализ возможных путей по её модернизации. Все узлы электрической схемы, надежность которых не соответствовала необходимым требованиям были модернизированы. Были найдены и успешно устранены основные причины неудовлетворительной формы электрических импульсов.

Выходные характеристики экспериментальной установки были систематизированы, а благодаря применению методов аналитического выравнивания была получена расширенная выборка данных, раскрывающая возможности установки за пределами доступных значений используемого нами измерительного оборудования.

Целесообразность данного усовершенствования была экономически обоснована: модернизированная установка для электрофизической обработки металлических изделий является намного более устойчивой к длительным процессам обработки и способна выдерживать большие значения силы тока, протекающего через блок транзисторных ключей. Это снижает вероятность выхода электронных ключей из строя, что снижает затраты на покупку сменных запчастей, работу по ремонту, а также препятствует слишком частому простоем оборудования на производстве. Кроме того, новая форма электрического импульса снижает потери энергии, что свидетельствует о повышении КПД установки, а соответственно и повышению её производительности.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ МАГИСТЕРСКОГО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА**

1. Жартовский А.В., Держевецкий В.В., Ковган А.Г. Экспериментальная установка для электрофизической обработки материалов // Студенческий вестник ДГМА. – 2014. – Вып. № 34.

2. Жартовский А.В., Ковган А.Г., Держевецкий В.В. Исследование параметров установки электрофизической обработки материалов // Научный вестник ДГМА. – 2015.

### **АННОТАЦИИ**

**Ковган А.Г. Исследование переходных процессов экспериментальной установки для электрофизического упрочнения металлических изделий с целью повышения её надежности и производительности – Рукопись.**

Магистерская работа на получение академической степени магистра по специальности 8.05020201 – «Автоматизоване управління технологічними процесами». – Донбасская государственная машиностроительная академия. Краматорск, 2015.

Магистерская работа посвящена решению научно-технической цели – повышению производительности и надежности экспериментальной установки для электрофизического упрочнения металлических изделий.

Для реализации цели работы решены следующие задачи: проведено исследование электрических схем экспериментальной установки на предмет наименее надежных её звеньев; исследованы переходные процессы экспериментальной установки с целью обнаружения факторов, требующих

коррекции; проведен поиск способов повышения надежности и производительности экспериментальной установки; обеспечен более качественный вид электрических импульсов, тем самым повышена надежность и производительность экспериментальной установки; проведена модернизация наименее надежных звеньев установки для электрофизического упрочнения металлических изделий.

В ходе исследования переходных процессов экспериментальной установки было обнаружено, что форма импульса не соответствует ожидаемой, что препятствует её полноценной работе. Модернизация установки позволила добиться более качественной формы электрического импульса, благодаря чему были повышены показатели как производительности, так и надежности экспериментальной установки.

Целесообразность данного усовершенствования была экономически обоснована: модернизированная установка является намного более устойчивой к длительным процессам обработки и способна выдерживать большие значения силы тока. Это снижает вероятность выхода электронных ключей из строя, что снижает затраты на покупку сменных запчастей, работу по ремонту и препятствует слишком частому простоему оборудования на производстве, а новая форма электрического импульса снижает потери энергии, что свидетельствует о повышении КПД установки, а соответственно и повышению её производительности.

**Ключевые слова:** электрофизическая обработка, электроимпульсная обработка, транзистор, электрический импульс, метод наименьших квадратов, переходной процесс

## АНОТАЦІЇ

**Ковган А.Г. Дослідження перехідних процесів експериментальної установки для електрофізичної обробки металевих виробів з метою підвищення її надійності та продуктивності. - Рукопис.**

Магістерська робота на отримання академічного ступеня магістра за спеціальністю 8.05020201 - «Автоматизоване управління технологічними процесами». - Донбаська державна машинобудівна академія. Краматорськ, +2015.

Магістерська робота присвячена вирішенню науково-технічної мети - підвищенню продуктивності і надійності експериментальної установки для електрофізичного зміцнення металевих виробів.

Для реалізації мети роботи вирішені наступні завдання: проведено дослідження електричних схем експериментальної установки на предмет найменш надійних її ланок; досліджені перехідні процеси експериментальної установки з метою виявлення чинників, які потребують корекції; проведено пошук способів підвищення надійності і продуктивності експериментальної установки; забезпечений якісніший вид електричних імпульсів, тим самим підвищена надійність і продуктивність експериментальної установки; проведена модернізація найменш надійних ланок установки для електрофізичного зміцнення металевих виробів.

У ході дослідження перехідних процесів експериментальної установки було виявлено, що форма імпульсу не відповідає очікуваній, що перешкоджає її повноцінній роботі. Модернізація установки дозволила добитися більш якісної форми електричного імпульсу, завдяки чому були підвищені показники як продуктивності, так і надійності експериментальної установки.

Доцільність даного вдосконалення була економічно обґрунтована: модернізована установка є набагато більш стійкою до тривалих процесів обробки і здатна витримувати великі значення сили струму. Це знижує ймовірність

виходу електронних ключів з ладу, що знижує витрати на покупку змінних запчастин, роботу по ремонту і перешкоджає занадто частому простою обладнання на виробництві, а нова форма електричного імпульсу знижує втрати енергії, що свідчить про підвищення ККД установки, а відповідно і підвищенню її продуктивності.

**Ключові слова:** електрофізична обробка, електроімпульсна обробка, транзистор, електричний імпульс, метод найменших квадратів, перехідний процес

## ANNOTATIONS

**Kovgan A.G. Research of transient response of the experimental setup for electrophysical hardening of metal products in order to improve its reliability and performance. - Manuscript.**

Master's thesis for a master's degree in an academic specialty 8.05020201 - «Automated process control» - Donbass State Engineering Academy. Kramatorsk, 2015.

Master's thesis is devoted to solving scientific and technical goals - improving the performance and reliability of the experimental setup for electrophysical hardening of metal products.

To implement the objectives of the work the following problems has been solved: a study of electrical circuits of the experimental setup for the least reliable of its units; a study of the transients responses of the experimental setup for the detection of factors that need correction; a research of the ways to improve the reliability and performance of the experimental setup; a more qualitative form of electrical impulses has been provided, which improves the reliability and performance of the experimental

setup; the modernization of the least reliable units of the experimental setup has been made.

The study of transient responses of the experimental setup showed that the shape of the pulse is not as good as expected, that prevents its fully productive and reliable operation. The upgrade of the experimental setup has allowed to achieve better forms of electrical impulse, which promoted better performance and reliability results.

The feasibility of this improvement was economically justified: the modernized experimental setup is much more resistant to the long process of treatment and is able to withstand higher amperage. This reduces the probability of breakdown of transistors, which reduces the costs for the purchase of replacement parts, repair and prevents too frequent downtime at work. A new form of an electrical pulse reduces loss of energy, which increases the experimental setup efficiency, and consequently, increases its performance.

Keywords: electrophysical processing, electric pulse processing, the transistor, an electrical impulse, the least squares method, transient response