

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет
информационных технологий
и электроники
наименование факультета

Кафедра
Нано – и микроэлектроника
наименование кафедры

Направление подготовки 11.03.04. Электроника и нанoeлектроника
код и наименование

Профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»
наименование профиля

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

ПензГУ 02. 11.03.04. 001 ПЗ
обозначение, присваиваемое кафедрой

на тему

Применение электрогидравлического эффекта для получения
тема бакалаврской работы

наноразмерных частиц

Студент группы 21ПД1 AB Абдиллаев М.С.
номер группы подпись, дата фамилия, иниц.

Руководитель доцент Доросинский А.Ю.
должность наименование организации подпись, дата фамилия, иниц.

Нормоконтролер ст. преподаватель Рыжова Т.Н.
должность подпись, дата фамилия, иниц.

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 09.06.25 № 10)
Заведующий кафедрой Пронин И.А.
подпись, дата фамилия, иниц.

Работа защищена с оценкой хор. (протокол ГЭК от 20.06 № 17)

Секретарь ГЭК Вольсков А.А.
подпись, дата фамилия, иниц.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Исследование возможности применения электрогидравлического эффекта для получения наноразмерных порошков	6
1.1 Понятие электрогидравлического эффекта.....	6
1.2 Области применения электрогидравлического эффекта	11
1.3 Перспективы применения электрогидравлического эффекта для измельчения различных материалов.....	14
2 Проектирование установки для реализации кавитационного измельчителя порошкообразных материалов до наноразмеров	19
2.1 Патентный поиск в области разработки измельчителей на основе электрогидравлического эффекта	19
2.2 Разработка конструкции измельчителя	22
2.3 Расчет основных технических параметров устройства	27
3 Разработка электрической части устройства.....	33
3.2 Разработка схемы электрической функциональной для управления процессом измельчения.....	38
3.3 Разработка схемы электрической принципиальной для управления процессом измельчения.....	40
4 Требования по безопасности при эксплуатации электрических приборов и устройств	52
4.2 Требования безопасности при работе с высокими напряжениями	59
4.3 Противопожарная безопасность.....	63
Заключение	66
Список использованных источников	67
Приложение А Техническое задание	69
Приложение Б Схема электрическая функциональная блока управления	73

Приложение В Схема электрическая принципиальная блока управления	75
Приложение Г Перечень элементов	77
Приложение Д Заявление и протокол проверки бакалаврской работы на оригинальность	80

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка 65 листов, 15 рисунков, 3 таблицы, 3 листа формата А1, 16 источников, 6 приложений.

Предметом исследования являлись конструкции измельчителей материалов до наноразмеров на основе электрогидравлического эффекта.

Целью работы было: разработка измельчителя материалов на основе электрогидравлического эффекта для нужд микроэлектроники.

В работе представлен литературный обзор современных подходов к построению таких измельчителей. Проведен анализ сферы их применения.

Произведено проектирование установки для реализации кавитационного измельчителя порошкообразных материалов до наноразмеров.

Предложена конструкция и электрическая реализация блока управления электрогидравлического измельчителя.

По результатам проведенной работы сделаны выводы.

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

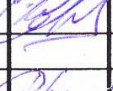
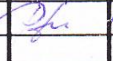
ВВЕДЕНИЕ

Электрогидравлический эффект (ЭГЭ) представляет собой физическое явление, заключающееся в генерации мощных гидравлических импульсов при электрическом пробое жидкости. Суть процесса заключается в следующем: короткий, но высоковольтный электрический разряд, инициированный в жидкости (чаще всего воде), приводит к мгновенному образованию плазменного канала.

Этот канал стремительно расширяется, порождая ударную волну, распространяющуюся в жидкости с высокой скоростью. Именно эта ударная волна, а также возникающие кавитационные явления, используются для измельчения различных материалов.

Одним из ключевых преимуществ ЭГЭ является его универсальность. Он может применяться для измельчения широкого спектра материалов: от хрупких горных пород до эластичных полимеров и даже биологических тканей. Важно отметить, что измельчение происходит без непосредственного контакта инструмента с материалом, что исключает загрязнение продукта и износ оборудования.

В работе была поставлена цель создания измельчителя материалов на основе электрогидравлического эффекта с высокаим КПД. Такое устройство может найти широкое применение в нано- и микроэлектронике.

					ПГУ 02. 11.03.04. 001 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Введение	Лит.	Лист	Листов	
Разраб.		Абдиллаев							
Провер.		Доросинский					5	82	
Реценз.									
Н. Контр.		Рыжова		10.06.15					
Утверд.									
						Группа 21ПД1			

1 Исследование возможности применения электрогидравлического эффекта для получения наноразмерных порошков

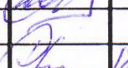
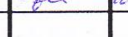
1.1 Понятие электрогидравлического эффекта

Электрогидравлический эффект (ЭГЭ) – это группа явлений, возникающих при прохождении мощного электрического импульса через жидкость, обычно диэлектрик. Этот эффект проявляется в форме ударных волн, кавитации, генерации плазмы и свечения.

В основе ЭГЭ лежит быстрый ввод энергии в ограниченный объем жидкости. Когда электрический импульс достигает порогового значения, происходит пробой диэлектрика, что приводит к формированию плазменного канала. Этот канал мгновенно расширяется, генерируя ударные волны, распространяющиеся радиально от точки пробоя. Одновременно с этим, высокая температура плазмы вызывает локальное испарение жидкости и образование кавитационных пузырьков.

Фактически за счет ЭГЭ существует способ преобразования электрической энергии в механическую, совершающийся без посредства промежуточных механических звеньев, с высоким КПД. Сущность этого способа состоит в том, что при осуществлении внутри объема жидкости, находящейся в открытом или закрытом сосуде, специально сформированного импульсного электрического (искрового, кистевого и других форм) разряда вокруг зоны его образования возникают сверхвысокие гидравлические давления, способные совершать полезную механическую работу и сопровождающиеся комплексом физических и химических явлений [1, 2].

В основе электрогидравлического эффекта лежит явление резкого увеличения гидравлического и гидродинамического эффектов и амплитуды ударного действия при осуществлении импульсного электрического разряда в

					ПГУ 02. 11.03.04. 001 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<div>Исследование возможности применения электрогидравлического эффекта для получения наноразмерных порошков</div>	Лит.	Лист	Листов	
Разраб.		Абдиллаев							
Провер.		Доросинский					6	82	
Реценз.						Группа 21ПД1			
Н. Контр.		Рыжова		12.06.15					
Утверд.									

При этом ударная волна может использоваться для разрушения материалов, дробления камней, штамповки, очистки поверхностей и других технологических процессов.

Преимущества ЭГЭ перед другими альтернативными заключается в получении высокого КПД, так как значительная часть электрической энергии преобразуется непосредственно в механическую. Отсутствие механических передач исключает износ оборудования, так как энергия передаётся через жидкость.

Возможность точного управления за счет формирования требуемых параметров разряда (напряжение, длительность импульса) позволяют регулировать силу воздействия [1, 2].

Для электрогидравлического эффекта характерен режим выделения энергии на активном сопротивлении контура, близком к критическому, т. е. когда

$$\frac{1}{C} < \frac{R^2}{4L}, \quad (1.1)$$

где C – емкость конденсатора;

R – активное сопротивление контура;

L – индуктивность контура.

Отсюда следует, что основными факторами, определяющими возникновение электрогидравлического эффекта, являются амплитуда, крутизна фронта, форма и длительность электрического импульса тока.

Амплитуда импульса:

Напряжение: десятки киловольт (10–100 кВ).

Ток: десятки тысяч ампер (до 50–100 кА).

Мгновенная мощность: сотни мегаватт (из-за микросекундной длительности).

Чем выше амплитуда, тем больше энергия, переданная в жидкость, и сильнее ударная волна. Максимальное давление в зоне разряда может достигать 100 000 атм и более.

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Крутизна фронта импульса (скорость нарастания тока, dI/dt) обычно определяется порядками 10^9 – 10^{11} А/с (нано- или микросекундные фронты).

Доказано, чем круче фронт, тем быстрее формируется плазменный канал и выше локальное давление. Скорость расширения разрядного канала (до 10 км/с).

Длительность импульса укладывается в микросекундный диапазон (1–100 мкс). Так, короткие импульсы (1–10 мкс) дают более резкий удар, но меньший общий импульс давления. Длинные же (50–100 мкс) наоборот, обеспечивают более плавное, но мощное воздействие.

Форма импульса представляет собой экспоненциальный спад (разряд конденсатора) или прямоугольный (импульсные генераторы с формированием линии). Так прямоугольные импульсы дают более предсказуемое давление. Осцилляции могут вызывать многократные ударные волны.

Гидродинамические эффекты сопровождаются ударными волнами со скоростями 2–5 км/с и давлением до 100 кбар. Также возникает кавитация (образование и схлопывание пузырей, локальные давления до 10 000 атм). Помимо этих явлений присутствуют также гидравлические потоки (скорость до 500 м/с).

К акустическим и электромагнитным явлениям можно отнести наличие сопутствующего инфра- и ультразвука (20 Гц – 100 кГц, разрушение за счет резонанса).

Также присутствуют световые и рентгеновские вспышки (коротковолновое излучение при высоких энергиях).

Термохимические процессы обусловлены локальным нагревом до 10 000 К в зоне разряда, который сопровождается ионизацией и диссоциацией молекул (образование свободных радикалов), а также синтезом новых соединений (например, озона, перекиси водорода) [1, 4].

Уникальные возможности электрогидравлического воздействия являются основой для широкого его применения во всех областях промышленности, как способ трансформации электрической энергии в механическую.

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В связи с этим КПД этого преобразования является определяющим фактором при решении вопросов практического использования электрогидравлических способов и устройств. КПД (η) электрогидравлического эффекта зависит как от параметров электрической схемы, так и от свойств подвергающихся электрогидравлической обработке объектов, среды, в которой она происходит, и характера обработки.

Ниже дается качественное изложение факторов, оказывающих влияние на величину КПД электрогидравлического эффекта

$$\eta = f\left(a, l, k_p, \frac{1}{\tau}, b\right), \quad (1.2)$$

где $a = f\left(C, U, \frac{1}{L}, \frac{1}{R}\right)$ – амплитуда импульса;

l – расстояние между электродами (длина искры);

k_p – коэффициент, характеризующий резонансные свойства материала;

τ – длительность импульса;

b – крутизна фронта импульса;

C – электрическая емкость;

U – номинальное напряжение;

L – индуктивность разрядного контура;

R – сопротивление разрядного контура.

Доказано, что КПД возрастает с увеличением значений a и b , а также длины искры l и уменьшается с увеличением τ . Уменьшение значений L и R разрядного контура, а также рост напряжения U и в известных пределах емкости C способствуют увеличению механического КПД электрогидравлического эффекта, увеличению КПД также способствует увеличение плотности рабочей жидкости [3].

Однако следует также иметь в виду сложный характер зависимости электрических параметров друг от друга. Так, при увеличении емкости контура линейно возрастают энергия импульса, амплитуда тока, удлиняется искра, но одновременно увеличивается и длительность импульса. Возрастание амплитуды

тока и рост длины искры способствуют увеличению КПД, но их положительное влияние подавляется быстрым увеличением длительности импульса.

Поскольку передача энергии от искрового канала в окружающую его среду осуществляется через поверхность этого канала, то пространственные параметры искры будут в значительной степени определять эффективность этого процесса. Поэтому, говоря далее о напряжении и емкости, следует прежде всего иметь в виду, что они являются главными факторами, определяющими длину (напряжение) и диаметр (емкость) искрового канала. При увеличении напряжения резко возрастают энергия импульса ($A = CU^2/2$) и крутизна фронта импульса тока [3, 4].

Эффективность (η) ЭГЭ зависит от электрической схемы (потери в разряднике, кабелях, конденсаторах). Также и от свойств жидкости (электропроводность, вязкость, плотность) и геометрии разрядной камеры (форма электродов, расстояние между ними).

Типичный КПД для таких систем 30–60% (для хорошо оптимизированных систем). Потери идут на: нагрев жидкости, излучение (свет, УФ, рентген), вибрации и акустические потери. [6].

Основные потери энергии приходятся на:

- Джоулев нагрев жидкости (30–50% энергии).
- Излучение (свет, УФ, рентген) (5–10%).
- Акустические потери (инфра- и ультразвук) (10–20%).
- Вибрации и механические потери в стенках камеры (5–15%).

Поэтому целесообразным может быть использование импульсных генераторов с малыми потерями (например, LC-генераторы).

А также оптимизация формы импульса (прямоугольные или двуполярные импульсы), применение жидкостей с оптимальной электропроводностью (например, слабые растворы электролитов), использование отражающих камер для фокусировки ударной волны.

Практическое значение КПД для ЭГЭ заключается в том, что высокий КПД

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

критически важен для промышленного применения (например, дробление горных пород требует минимизации энергозатрат).

Примеры КПД в реальных системах. Дробление камней происходит с КПД 40–50% Используются короткие импульсы (~5 мкс). Очистка поверхностей дает 30–40% Часть энергии теряется на нагрев. Штамповка металлов не бывает более 25–35% Потери идут из-за деформации материала.

Перспективные направления повышения КПД, это использование плазменных каналов с магнитным удержанием (снижение потерь на нагрев) и применение наносекундных импульсов (меньше рассеивание энергии)..

Гибридные системы (ЭГЭ + ультразвук) для синергетического эффекта.

КПД электрогидравлического эффекта зависит от множества факторов, но при грамотной оптимизации может достигать 40–50%, что делает его конкурентоспособным методом преобразования электрической энергии в механическую. Дальнейшее повышение эффективности возможно за счёт совершенствования импульсных генераторов и управления параметрами разряда.

1.2 Области применения электрогидравлического эффекта

Электрогидравлический эффект (ЭГЭ) нашел широкое применение в различных областях науки и техники благодаря своим уникальным свойствам, таким как способность генерировать мощные импульсы давления и создавать кавитацию. Основные проявления ЭГЭ представлены на рисунке 1.1

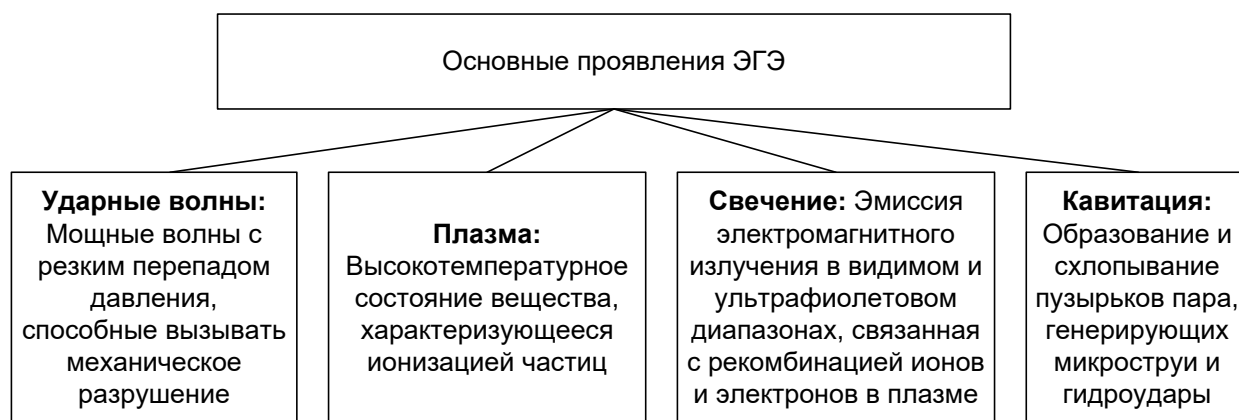


Рисунок 1.1 – Основные проявления ЭГЭ

Эти свойства позволяют использовать ЭГЭ для решения задач, связанных с обработкой материалов, очисткой поверхностей, интенсификацией химических реакций и даже в медицинских технологиях.

В области обработки материалов ЭГЭ применяется для разрушения горных пород, дробления твердых отходов и компактирования порошковых материалов. Высокоэнергетические импульсы, генерируемые ЭГЭ, создают в материале напряжения, превышающие его предел прочности, что приводит к его разрушению или изменению структуры. Этот метод особенно эффективен для обработки хрупких и твердых материалов, таких как бетон, керамика и композиты.

Очистка поверхностей с использованием ЭГЭ основана на кавитационном эффекте. Кавитационные пузырьки, образующиеся при разряде, схлопываются, создавая микроскопические ударные волны, которые эффективно удаляют загрязнения с поверхности. Этот метод применяется для очистки труб, теплообменников и других сложных поверхностей, где традиционные методы очистки неэффективны.

Помимо этого электрогидравлические установки для очистки литья способны осуществлять одновременно с очисткой интенсивное старение – снятие внутренних напряжений в металлах и других материалах [3, 5] Как оказалось, эти напряжения достаточно эффективно снимаются уже в процессе самой электрогидравлической очистки литья, а если процесс электрогидравлической обработки продолжить, то напряжения могут быть сняты практически полностью. Расход энергии на полное снятие напряжений может составить около 50–100 кВт·ч на 1 т литья.

При ковке, штамповке, чеканке, наклепе, резке и других видах обработки материалов ударные деформирующие усилия также могут быть получены посредством электрогидравлических ударов, воспроизводимых в заполненной жидкостью камере, цилиндре с поршнем или мембраной, которые воспринимают усилия ударов и передают их непосредственно или через соответствующий

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

связанный с ними рабочий инструмент деформируемому объекту. При этом обратное перемещение поршня или мембраны осуществляется за счет атмосферного давления при захлопывании кавитационной полости.

Установка, использующая мощное импульсное воздействие электрогидравлических ударов на поршень, размещенный в цилиндре с жидкостью, представляет собой электрогидравлический молот или ковочное устройство. Опускание цилиндра с поршнем на изделие перед началом обработки и подъем после окончания обработки осуществляются обычными механическими средствами.

Применение ЭГЭ находит и при создании электрогидравлических вибраторов. Поршневой электрогидравлический вибратор представляет собой цилиндр с одним или двумя рабочими поршнями. Передающий вибрацию элемент, установленный внутри цилиндра, может быть выполнен также в виде мембраны из эластичного материала. Камера электрогидравлического вибратора, выполненная из эластичного материала, может иметь произвольную форму, например, резервуара, закрытого крышкой, или эластичного мешка, заполненного рабочей средой. Как и в других электрогидравлических устройствах, для усиления действия вибрации разрядники снабжаются отражающими поверхностями.

При выполнении операций штамповки и других видов обработки может быть предложен метод обработки непрерывной или пульсирующей струей жидкости высокого и сверхвысокого давлений, полученной от электрогидравлического насоса [2]. Изменение характера воздействия и регулирование его режима достигаются изменениями давления, формы струи, состава жидкости, а также угла падения струи на обрабатываемую поверхность. Истечение струи под высоким и сверхвысоким давлениями получают из узкого отверстия электрогидравлического насоса.

Также применение ЭГЭ находит и при выполнении операций развальцовки, обжатия, упрочнения и наклепа, а также сварки и спекания.

В химической технологии ЭГЭ используется для интенсификации

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

химических реакций и диспергирования жидкостей. Электрогидравлические импульсы способствуют перемешиванию реагентов, увеличению площади контакта между фазами и образованию наноэмульсий и суспензий. Это позволяет ускорить химические реакции, повысить выход продукции и улучшить качество конечного продукта.

В медицине ЭГЭ находит применение в литотрипсии (разрушении камней в почках) и в хирургии. Электрогидравлические импульсы используются для разрушения камней без хирургического вмешательства, а также для рассечения мягких тканей с минимальным повреждением окружающих тканей.

1.3 Перспективы применения электрогидравлического эффекта для измельчения различных материалов

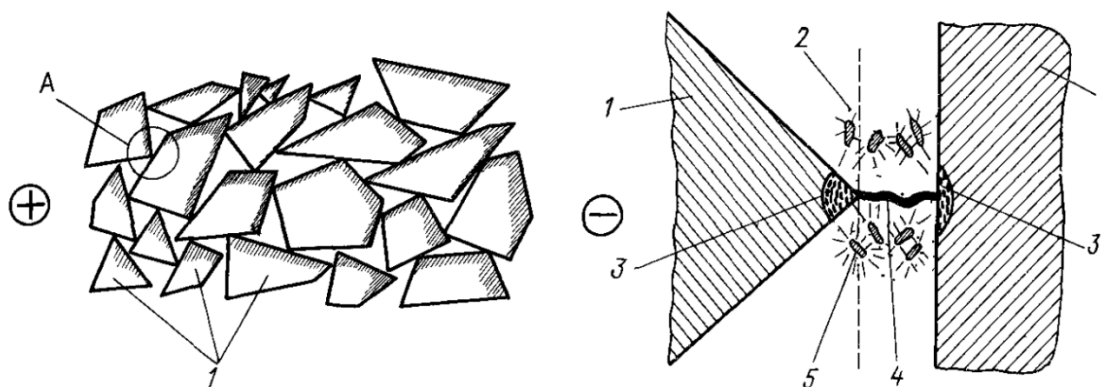
Для дробления и измельчения пластических проводящих материалов (например, металлов или их проводящих соединений) был разработан особый метод измельчения, позволяющий получать как крупнозернистые порошки этих металлов, так и весьма дисперсные – коллоидные – измельчения их [1, 4, 5]. Сущность метода сводится к тому, что разряды и сопровождающие их электрогидравлические удары возникают в местах контакта макрочастиц измельчаемого материала, погруженного в жидкую среду между электродами. При этом основной разряд распадается на десятки тысяч отдельных мелких разрядов, имеющих приблизительно одинаковые параметры, зависящие в данной жидкости (при стабильных параметрах основного разряда) в основном от начальных размеров частиц измельчаемого материала, диаметра ванны и расстояния между электродами. Для заданных параметров ГИТ дисперсность получаемого материала будет тем выше, чем больше диаметр ванны (или расстояние между электродами) и мельче размеры макрочастиц исходного материала.

С повышением энергии импульса при заданных диаметре ванны и величине макрочастиц исходного материала дисперсность конечного продукта

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

будет увеличиваться, если возрастание энергии импульса шло за счет повышения напряжения, и уменьшаться, если увеличение энергии импульса шло за счет возрастания емкости накопителя ГИТ.

На рисунке 1.2, а схематично показано, как контактируют между собой макрочастицы исходного материала, а на рисунке 1.2, б приведена схема процесса диспергирования в одной из точек контакта двух макрочастиц. Макрочастицы контактируют в жидкости через некоторый слой. Возникающий между частицами разряд выплавляет в каждой из них некоторый объем материала. Выброшенный в виде капелек материал образует коллоид. Во время работы устройства для получения коллоидов металлов можно наблюдать, как при каждом электрогидравлическом ударе возникают десятки тысяч микроразрядов и под действием микроэлектрогидравлических ударов интенсивно перемешиваются частицы материала, контактируя между собой все новыми и новыми участками своей поверхности. С течением времени загруженные в устройство макрочастицы превращаются в правильные шары, постепенно уменьшающиеся в диаметре. Расход энергии на получение коллоидов зависит от свойств измельчаемого материала, возрастая вместе с его тугоплавкостью и степенью измельчения.



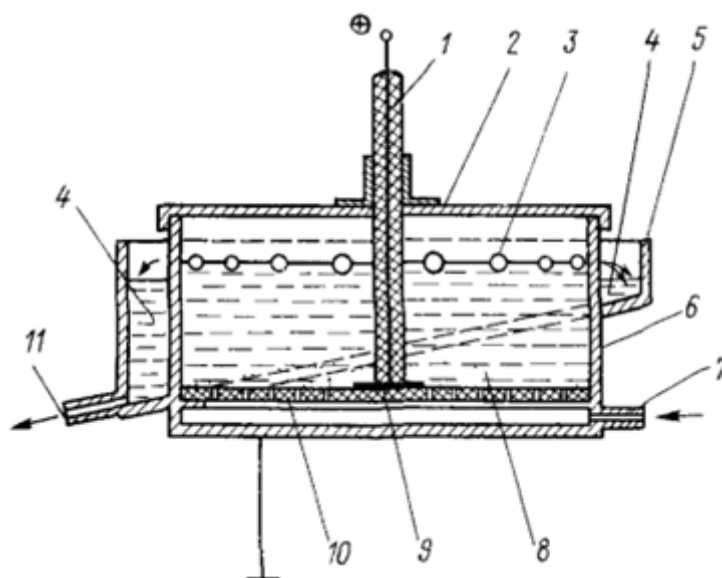
а) – контактирование макрочастиц

б) – процессы в точке А контакта макрочастиц

1 – макрочастицы металла, 2 – коллоидные частицы металла, 3 – лунка, выплавленная в металле разрядом, 4 – канал разряда, 5 – микрокапельки металла, выброшенные из лунки в жидкость

Рисунок 1.2 – Схема развития процессов при электрогидравлическом получении коллоидов металлов

При получении коллоидов представляет интерес метод распыления в жидкости металлических или других ВТЭ Коллоид в этом случае получается тем более тонким, чем больше энергия импульса и чем полнее испаряется ВТЭ [6] А так как при тепловом взрыве диаметр проводника и ток импульса могут быть подобраны таким образом, что проводник после взрыва без остатка обратится в пар, то это дает еще один метод получения коллоидных порошков путем непрерывной подачи на искровой промежуток, расположенный в жидкой или газовой среде, взрывающегося теплового элемента заданного диаметра. Элемент выполняется в данном случае из проволоки большой длины, намотанной на катушку.



1 – положительный электрод, 2 – планка-держатель электрода, 3 – отверстия в корпусе для выхода коллоида, 4 – сток коллоидного раствора, 5 – кожух стока, 6 – корпус устройства, 7 – подача жидкости или воздуха, 8 – опилки или стружки металла в «кипящем слое», 9 – контактная пластина положительного электрода, 10 – дырчатое днище из диэлектрика, 11 – выход коллоида

Рисунок 1.3 – Электрогидравлическое устройство для получения коллоидов различных металлов

Поскольку коллоидные частицы некоторых проводящих материалов могут быть получены и непосредственно из руд (и даже из находящихся под землей), то для тех случаев, когда они могут идти в производственный процесс порошковой технологии сразу и без дополнительной обработки, оба эти способа получения порошков также представляют большой интерес.

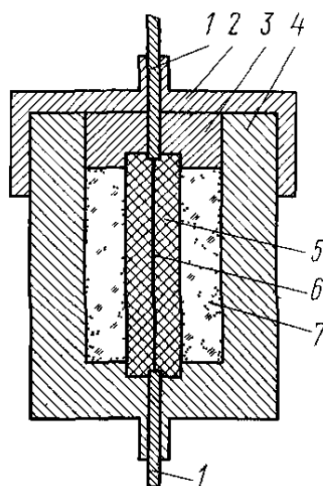
Для получения идеально перемешанных смесей коллоидов различных проводящих материалов в устройство (см. рисунок 1.3) загружается дозированное количество проводящих материалов, подлежащих измельчению, что и определяет затем заданную пропорцию веществ в конечной смеси их коллоидов. Непроводящий коллоид, необходимый в смеси, добавляется при этом одновременно с загрузкой устройства. В результате контактов разнородных микрочастиц возникают комбинированные коллоидные частицы в виде микросплавов веществ, загруженных в устройство. Одновременно находящиеся в устройстве частицы непроводящего коллоидного порошка также увлекаются в общий процесс и образуют в итоге сложные конгломераты идеально перемешанных и частично сплавленных коллоидных частиц. Этим способом можно получать жаропрочные и жароупорные сплавы [1].

Методами электрогидравлики также можно производить и уплотнение порошков, например, располагая различные типы электрогидравлических вибраторов или вибропрессов и синхронизируя их работу таким образом, чтобы уплотняющее воздействие их на порошок осуществлялось одновременно с разных сторон. При уплотнении порошков с помощью теплового взрыва в некоторых случаях целесообразно располагать ВТЭ в самом уплотняемом порошке, используя его как среду, передающую давления теплового взрыва на материал [66]. При этом можно достичь равномерного уплотнения именно тех мест прессуемого изделия, которые при обычных методах прессования практически не уплотняются.

Изготовление полых изделий из порошков может осуществляться и без жидкости, как передающей энергию среды, при замене ее какой-либо пастой (типа глины) или каким-либо эластичным материалом (например, полиэтиленом) с размещением внутри их объема одного или нескольких ВТЭ (рисунок 1.4). При этом режим обработки подбирается таким образом, чтобы уплотнение изделия осуществлялось сразу за один прием, так как повторение тепловых взрывов для этого случая и сложно, и конструктивно не всегда осуществимо. В качестве среды,

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

передающей энергию теплового взрыва на обрабатываемый материал, вместо сплошных пластических или эластичных материалов можно применять также какие-либо сыпучие составы. В некоторых случаях, например, при уплотнении изделий большой длины, целесообразно в такие сыпучие составы добавлять небольшие количества смачивающих жидкостей (например, керосина, бензина, эфира, воды), придающих взрыву легко регулируемые метательные свойства.



1 – токопроводы, 2 – крышка устройства, 3 – уплотняющий вкладыш, 4 – толстостенный корпус устройства, 5 – среда, передающая давления теплового взрыва, 6 – ВТЭ, 7 – уплотняемый порошок

Рисунок 1.4 – Электрогидравлическое устройство для уплотнения порошков методом теплового взрыва

Из новых областей применения коллоидных порошковых материалов определенными перспективами обладает применение их в сложных многокомпонентных смесях в литейном производстве в качестве материала для приготовления жидкотекучих быстротвердеющих формовочных смесей, в мелиорации для закрепления грунтов, а также в качестве компонентов, улучшающих строительные и другие качества бетонов и пластических масс.

2 Проектирование установки для реализации кавитационного измельчителя порошкообразных материалов до наноразмеров

2.1 Патентный поиск в области разработки измельчителей на основе электрогидравлического эффекта

Изобретение относится к способам измельчения частиц различных веществ, размещенных в жидкой среде, а также может быть использовано для активации этих веществ или для их дезинфекции. Возможно использование предложенного способа для попутного получения тепла при проведении операций по измельчению или активации, или дезинфекции веществ.

Известен способ измельчения, активации или дезинфекции веществ, построенный на электрогидравлическом эффекте [1]. По этому способу вещество размещают в жидкость, далее многократно простреливают жидкость электрическим разрядом. При этом при периодическом электрическом пробое жидкости возникают электрогидравлические удары, которые воздействуют на обрабатываемое вещество, размельчая его, активируя его (увеличивая его поверхность), дезинфицируя его. На основе этого способа Л.А. Юткиным сделан ряд изобретений, нашедших применение в промышленности в период с 1956 по 1986 г.г.

Основным недостатком данного способа является его высокая электроопасность и низкая энергоэффективность. По этому способу подводимую к обрабатываемому веществу энергию электрогидравлического удара, первоначально накапливают в электрическом конденсаторе, имеющем напряжение порядка 20 тысяч Вольт и емкость порядка 1 мкФ (10^{-6} Фарады). При этом цикл заряда высоковольтного конденсатора составляет несколько секунд, а его разряд протекает за время порядка 1 микросекунды (10^{-6} секунды). То есть общая энергия заряженного конденсатора в цикле составляет порядка 200

					ПГУ 02. 11.03.04. 001 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Проектирование установки для реализации кавитационного измельчителя порошкообразных материалов до наноразмеров	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Абдуллаев							
Провер.	Доросинский						20	82
Реценз.						Группа 21ПД1		
Н. Контр.	Рыкова							
Утверд.								

То есть общая энергия заряженного конденсатора в цикле составляет порядка 200 Джоулей.

Отмеченные выше недостатки устраняются кавитационными измельчителями, например, «Измельчитель конусно-кавитационный» [2], который позволяет передавать значительную механическую энергию обрабатываемому веществу механически размалывая его между двумя конусами. При этом происходит размалывание вещества за счет кавитации, возникающей на выемках поверхностей конусов, вращающихся со значительными угловыми скоростями.

Основным недостатком устройства [2] является то, что оно не может осуществлять помол обрабатываемого вещества даже до микронных размеров. Обработанное таким измельчителем вещество имеет низкий уровень активированности (недостаточно большую поверхность помолотого вещества), дезинфекцию обрабатываемого вещества подобные устройства осуществлять не могут, так как размеры вирусов много меньше размеров частиц вещества на выходе устройств этого типа и кавитационные эффекты возникают не во всем объеме обрабатываемой пульпы кавитационной камеры, а только в малой части ее объема.

Осуществить более высокий уровень помола удастся в кавитационных устройствах, использующих ультразвук [3]. В «Кавитационном реакторе» [3] может быть осуществлена дезинтеграция вещества размещенного в жидкую среду до частиц крайне малых размеров (десятки и сотни нанометров), что обеспечивает высокий уровень его активации (значительную площадь его поверхности) и полную дезинфекцию. Устройства типа [3] электробезопасны и долговечны в сравнении с измельчителями Юткина [1], однако они, так же как и измельчители Юткина, не способны быстро осуществлять помол вещества из-за их низкой энергоэффективности. Излучатели ультразвука, находящиеся в резонансе (именно резонанс или стоячая волна используется в [3] для интенсификации процессов) не способны быть проводниками значительной энергии. Крайне

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

большие амплитуды колебаний в точках резонанса (в пучностях стоячей волны) как раз и свидетельствуют о том, что энергия хорошо накапливается устройством [3], но плохо передается обрабатываемому веществу.

Наиболее близким к предложенному способу является способ [4], по которому создают поток воды по замкнутому контуру с помощью вращающихся элементов кавитационно-вихревого теплогенератора (эти вращающиеся элементы создают дополнительный насосный эффект). По способу [4] предложено усиливать кавитационно-тепловой эффект за счет введения газовых потоков (потока кислорода и потока водорода), получаемых без их разделения и без их дополнительного смешивания электролизом воды, используемой в самом кавитационном теплогенераторе.

Основным недостатком способа [4] является то, что он не предназначен для измельчения веществ их активации или их дезинфекции. Кроме того, эффективность кавитационных процессов в устройствах, выполненных по способу [4] низка. Кавитационные процессы в устройствах по способу [4] основную часть энергии получают от механического вращения элементов кавитатора. Известно, что только незначительная часть механической энергии вращения элементов кавитатора преобразуется в энергию кавитации, большая часть механической энергии вращения элементов кавитатора не переводится в энергию кавитационных процессов. У насосов, работающих в нормальном режиме, вообще не возникает кавитационных процессов, то есть они вообще не осуществляют даже частичное перераспределение механической энергии потока жидкости в ее кавитационную составляющую. Не сегодняшний день нет достоверных методик для оценки коэффициента перевода механической энергии вращающихся элементов кавитаторов (насосов) или потока жидкости в вихревых кавитаторах, не имеющих вращающихся элементов.

Кавитационный эффект в устройствах, выполненных по способу [4], в сравнении с другими аналогичными устройствами, действительно усиливается, но усиление это не значительно. Усиление связано с дополнительным

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

насыщением кавитирующей жидкости газом (кислородом и водородом) и частичным сгоранием выработанного кислорода и водорода при кавитационных эффектах. В устройстве [4] усиление кавитации за счет энергии сгорания водорода и кислорода при схлопывании пузырьков их смеси незначительно. Всю энергию электролиза воды устройства, выполненные по способу [4], перевести в энергию кавитации неспособны. Именно по этой причине устройство, выполненное в соответствии с фигурой – 1 описания [4] имеет канал -16 отвода избыточной части смеси кислорода и водорода из зоны электролиза и подвода этой избыточной части смеси в камеру сгорания – 17 двигателя внутреннего сгорания – 18.

Также был найден патент, который непосредственно реализует измельчение за счет применения ЭГЭ №2397015. Устройство для кавитационного измельчения, активации, дезинфекции вещества. Технической задачей является повышение эффективности процессов кавитационного измельчения, активации или дезинфекции обрабатываемого вещества за счет более интенсивного подвода энергии кавитации к обрабатываемому веществу. Подзадачей является гораздо более полный перевод в энергию кавитационных процессов химической энергии сгорания, подводимой к устройствам смеси газов. Дополнительной побочной целью предложенного способа является повышение эффекта тепловыделения за счет кавитации в расчете на единицу массы кавитационного нагревателя при одновременном снижении его энергопотребления.

2.2 Разработка конструкции измельчителя

Для кавитационного измельчения, активации, дезинфекции вещества предлагается вводить его в жидкую среду (воду, масла, спирты, углеводороды или другие жидкости) и организовывать движение жидкости по замкнутому циклу. При этом движение жидкости, предложено осуществлять циркуляционным насосом малой мощности, который не способен воспроизвести эффект кавитации в движущейся жидкости. Для появления кавитационного эффекта измельчения твердого вещества или кавитационного эффекта смешивания двух не

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

смешиваемых жидкостей, предложено вводить в движущуюся по замкнутому контуру жидкость пузырьки газовой смеси, состоящие из газа-топлива и газо-окислителя в пропорции оптимальной для их сгорания. Далее предложено организовывать синхронное схлопывание пузырьков газовой смеси, одним из известных способов, приводящих к детонации реакции взрывного сгорания, введенных в жидкость пузырьков газовой смеси. Например, может быть использован удар внешнего давления (любой внешний удар) или скачек внутреннего давления в жидкости при ее простреливании искровым электроразрядом (внутренний удар).

Заявляемый технический эффект по снижению размеров частиц измельченного вещества по предложенному способу достигается тем, что при кавитационном дроблении вещества, возникающем при схлопывании пузырьков газа и взаимном соударении частиц размалываемого вещества, находящегося на периферии пузырьков, возникают большие скорости схлопывания (соударения). Увеличение скорости схлопывания происходит за счет подвода существенно большей энергии кавитации в виде энергии сгорания смеси газов в каждом пузырьке. Кроме того, эффект дополнительно усиливается за счет синхронного схлопывания всех пузырьков газовой смеси. Во всех, ранее известных кавитационных способах (устройствах) аналогах и прототипе отсутствует синхронизация схлопывания всех кавитационных пузырьков. В предложенном способе присутствуют эффекты не только локальных скачков давления при реакции сгорания газа каждого пузырька, но и присутствует общий суммарный скачек давления, обусловленный синхронным схлопыванием всех пузырьков газа. Общий значительный скачек давления несущественен для эффекта измельчения вещества, но позволяет эффективно стерилизовать обрабатываемое вещество и жидкость, обрабатывающую измельчаемое вещество.

Предложенный способ кавитационного измельчения, кавитационной активации, кавитационной дезинфекции, кавитационного нагрева может быть реализован в виде устройства состоящего из циркуляционного насоса с его

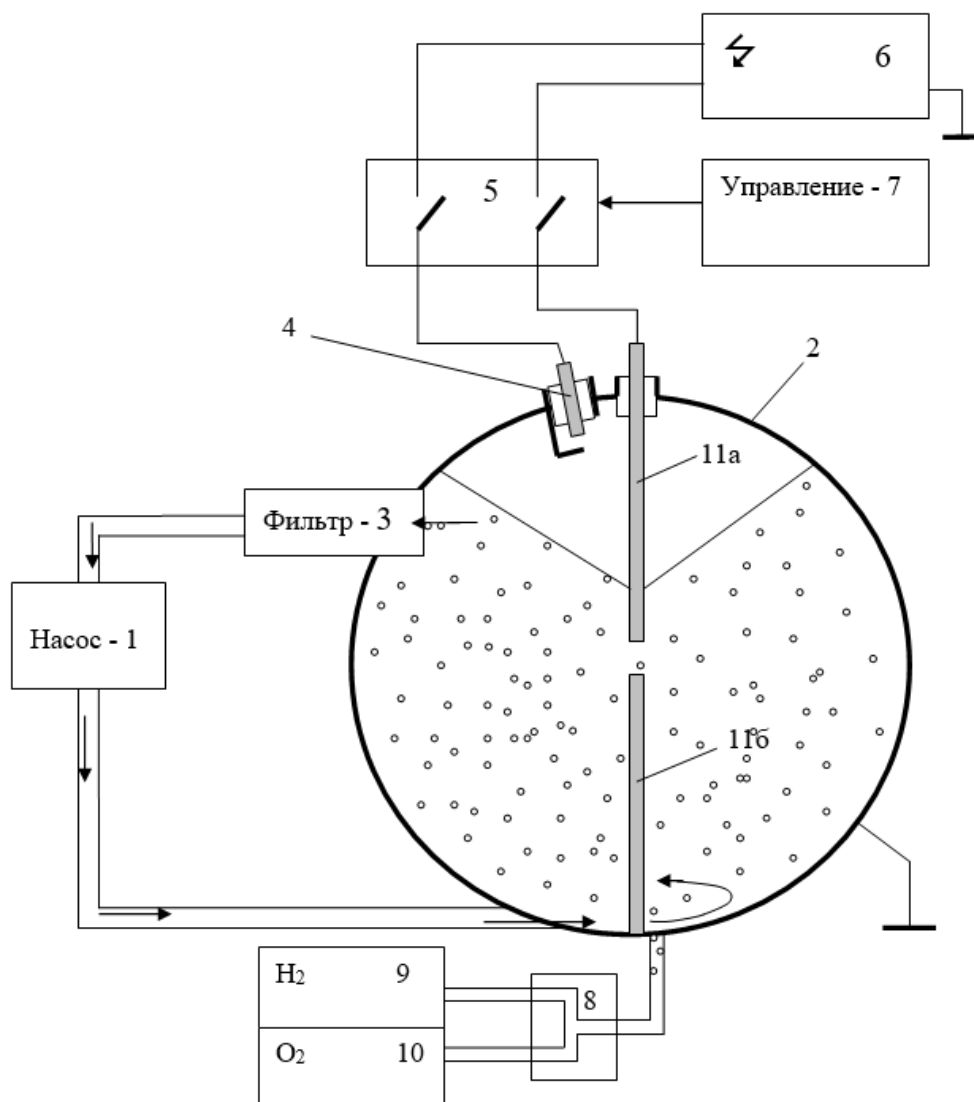
					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

приводом, камеры кавитации, фильтра, препятствующего выносу пузырьков газа из кавитационной камеры, замкнутого контура прокачки жидкости, образованного насосом, трубопроводами, фильтром, кавитационной камерой. Трубопроводы замкнутого контура прокачки жидкости подключены к насосу и кавитационной камере таким образом, чтобы в кавитационной камере образовывался вихрь прокачиваемой жидкости, препятствующий оседанию (всплыванию) обрабатываемого вещества или расслоению обрабатываемой смеси жидкостей. Кроме того, кавитационная камера подключена к трубопроводу откачки жидкости через заградительный фильтр таким образом, чтобы над входом трубопровода откачки образовывалась полость сбора смеси газов, прошедших через жидкость. В верхней части полости сбора газа камеры кавитации расположена свеча зажигания с двумя электродами, подключенная своим центральным электродом через блок коммутации к высокому напряжению, причем вход управления блока коммутации подключен к блоку задания времени зажигания. Корпус камеры кавитации выполнен из проводящего материала (например, металла) и электрически соединен с корпусом свечи зажигания, а также заземлен. Источник высокого напряжения так же имеет заземление. Кроме того, к нижней части камеры кавитации подсоединен трубопровод подвода жидкости из замкнутого контура ее циркулирования и трубопровод подачи смеси газа-топлива с газом-окислителем, соединенный через смеситель с источниками газа-топлива и газа-окислителя.

В этом случае в кавитационную камеру дополнительно введены электроды, причем они установлены так, что зазор между электродами расположен в центре кавитационной камеры, один из этих электродов соединен через блок коммутации с источником высокого напряжения, а другой электрод заземлен, через контакт с корпусом камеры кавитации.

Устройство, реализующее предложенный способ изображено на рисунке 2.1.

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



1 – насос с приводом; 2 – кавитационная камера; 3 – фильтр, препятствующий выносу пузырьков газа из кавитационной камеры-2; 4 – свеча зажигания, заимствованная у двигателей внутреннего сгорания; 5 – коммутатор высокого напряжения; 6 – блок создания высокого напряжения; 7 – блок управления, задающий время зажигания; 8 – смеситель подводимых газов; 9 – источник газа-топлива (например, водорода); 10 – источник газа-окислителя (например, кислорода); 11 – дополнительные электроды: 11а – изолированный электрод, 11б – заземленный электрод.

Рисунок 2.1 – кавитационный измельчитель на основе ЭГЭ

Составные элементы, соединены между собой следующим образом: вход насоса-1 подключен к выходу фильтра-3, через трубопровод. Вход фильтра-3 подсоединен к верхней левой частью сферической камеры кавитации 2, таким образом, что над входом фильтра-3 из части сферы кавитационной камеры-2 образуется замкнутая полость для сбора в ней газа. Выход насоса-1 соединен через трубопровод с правой нижней частью камеры кавитации – 2. Напротив выходного трубопровода насоса -1 в нижней части камеры кавитации – 2 подключен

трубопровод подачи газовой смеси, соединенный со смесителем – 8. Первый вход смесителя-8 соединен трубопроводом с выходом источника газа-топлива – 9, второй вход смесителя -8 соединен трубопроводом с выходом источника газа-окислителя – 10.

В верхней части сферической кавитационной камеры -2 имеется резьбовое отверстие куда вкручена свеча зажигания – 4. Рядом имеется второе отверстие, куда вкручен изолированный электрод – 11а. Внутренний конец изолированного электрода - 11а расположен в центральной части кавитационной камеры рядом с другим концом другого заземленного электрода – 11б. Расстояние между концами двух электродов – 11а и 11б выбрано равным 20 миллиметрам. Второй конец электрода 11б закреплен сваркой к корпусу кавитационной камеры -2. Корпус кавитационной камеры - 2 заземлен.

Внешние изолированные концы свечи зажигания – 4 и изолированного электрода – 11а подключены высоковольтными электропроводами к выходам коммутатора высокого напряжения – 5. Входы коммутатора высокого напряжения - 5 подключены высоковольтными электропроводами к выходам блока создания высокого напряжения – 6, который имеет выход заземления, подключенный к заземлению кавитационной камеры – 2.

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.3 Расчет основных технических параметров устройства

Для проектирования эффективного генератора электрогидравлических импульсов (ГЭГИ) необходимо определить ключевые параметры, влияющие на его производительность. К таким параметрам относятся энергия импульса, частота повторения, давление и расход рабочей жидкости, а также габаритные размеры и вес.

Энергия импульса E является определяющим фактором для оценки способности ГЭГИ выполнять требуемую работу. Она рассчитывается исходя из требуемого давления P и объема V рабочей жидкости, выталкиваемого за один импульс

$$E = \frac{P \cdot V}{2}. \quad (2.1)$$

Частота повторения импульсов f зависит от скорости зарядки накопителя энергии и быстродействия электрогидравлического клапана. Максимальная частота определяется временем, необходимым для полной зарядки накопителя и открытия/закрытия клапана.

Давление и расход Q рабочей жидкости определяются параметрами электрогидравлического клапана и гидравлической системы. Давление зависит от напряжения на катушке клапана и характеристик рабочей жидкости, а расход - от пропускной способности клапана и геометрии гидравлической системы.

Габаритные размеры и вес ГЭГИ зависят от выбранной конструкции, размеров накопителя энергии, электрогидравлического клапана и других компонентов. Компактность и малый вес являются важными факторами при проектировании мобильных и портативных устройств. Оптимизация габаритов достигается за счет использования современных материалов и компактных компонентов.

Для более точного расчета энергии импульса необходимо учитывать потери энергии на трение в гидравлической системе и деформацию элементов конструкции. В реальных условиях часть энергии импульса рассеивается, снижая

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

общую эффективность ГЭГИ. Для минимизации потерь следует использовать высококачественные уплотнения, оптимизировать геометрию каналов и выбирать материалы с высокой жесткостью.

При определении частоты повторения импульсов важно учитывать время демпфирования колебаний в гидравлической системе после каждого импульса. Если время демпфирования превышает период повторения импульсов, то это может привести к нестабильной работе ГЭГИ и снижению его эффективности. Для ускорения процесса демпфирования можно использовать гидравлические аккумуляторы или демпфирующие элементы.

Выбор рабочей жидкости играет важную роль в обеспечении надежной и эффективной работы ГЭГИ. Рабочая жидкость должна обладать высокой стабильностью к окислению, хорошими смазывающими свойствами и низкой сжимаемостью. Важно также учитывать вязкость рабочей жидкости, которая влияет на скорость потока и потери энергии в гидравлической системе.

Оптимизация габаритных размеров и веса ГЭГИ требует комплексного подхода, включающего выбор компактных компонентов, использование легких и прочных материалов, а также оптимизацию конструкции. При проектировании мобильных устройств следует уделять особое внимание эргономике и удобству эксплуатации ГЭГИ. Использование современных методов моделирования и анализа позволяет оптимизировать конструкцию ГЭГИ и снизить его вес без ущерба для производительности.

Для проектирования эффективного ГЭГИ необходимо учитывать следующие параметры:

- 1) Напряжение разряда U : определяет энергию, вкладываемую в разряд. Более высокое напряжение приводит к более мощной ударной волне.
- 2) Ток разряда I : характеризует интенсивность разряда.
- 3) Длительность импульса τ : влияет на форму и энергию ударной волны.
- 4) Энергия разряда E : рассчитывается как

$$E = \int U(t)I(t)dt, \quad (2.2)$$

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где интеграл берется по времени импульса. Это ключевой параметр, определяющий мощность генерируемой ударной волны.

5) Расстояние между электродами d : влияет на напряжение пробоя и форму канала плазмы.

6) Геометрия электродов: определяет форму канала плазмы и направление распространения ударной волны.

7) Свойства рабочей жидкости: плотность, вязкость, электропроводность и диэлектрическая проницаемость влияют на процесс разряда и распространение ударной волны.

8) Геометрия камеры генератора: форма и размеры камеры влияют на фокусировку и распространение ударной волны.

9) Акустический импеданс рабочей жидкости и нагрузки: определяет эффективность передачи энергии от ударной волны к нагрузке.

Здесь энергия разряда является, самым важным параметром. Увеличение энергии разряда приводит к более мощной ударной волне, способной оказывать большее воздействие на нагрузку. Однако, увеличение энергии также может привести к нежелательным эффектам, таким как кавитация, эрозия электродов и перегрев рабочей жидкости. Оптимальное значение энергии разряда зависит от конкретного применения ГЭГИ. Для расчета энергии разряда необходимо знать временные зависимости напряжения и тока. В простейшем случае, если напряжение и ток можно считать постоянными в течение импульса, то

$$E = U I \tau. \quad (2.3)$$

Напряжение разряда U должно быть достаточно высоким, чтобы обеспечить пробой диэлектрика рабочей жидкости. Напряжение пробоя зависит от расстояния между электродами d , свойств рабочей жидкости и формы электродов. Для воды напряжение пробоя можно оценить по формуле

$$U \approx k * d, \quad (2.4)$$

где k – коэффициент, зависящий от чистоты воды и формы электродов (обычно в диапазоне 10-30 кВ/см).

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Увеличение напряжения сверх необходимого для пробоя не всегда приводит к пропорциональному увеличению мощности ударной волны и может привести к неэффективному расходу энергии.

Ток разряда определяет скорость расширения канала плазмы и, следовательно, мощность ударной волны. Ограничение тока может быть необходимо для защиты источника высокого напряжения и электродов от повреждений. Использование специальных схем формирования импульсов позволяет оптимизировать форму тока для достижения максимальной эффективности.

Длительность импульса τ влияет на форму и энергию ударной волны. Короткие импульсы приводят к формированию более резких ударных волн с высокой пиковой мощностью, но меньшей общей энергией. Длинные импульсы приводят к формированию более протяженных ударных волн с меньшей пиковой мощностью, но большей общей энергией. Оптимальная длительность импульса зависит от конкретного применения ЭГГ. Например, для дробления материалов обычно используются короткие импульсы, а для формирования материалов - более длинные.

Расстояние между электродами влияет на напряжение пробоя и форму канала плазмы. Увеличение расстояния требует более высокого напряжения для пробоя, но может привести к формированию более протяженного канала плазмы и более мощной ударной волне. Слишком большое расстояние может привести к нестабильности разряда и снижению эффективности.

Форма электродов влияет на форму канала плазмы и направление распространения ударной волны. Использование специальных форм электродов, таких как конические или сферические, позволяет фокусировать ударную волну в определенной области. Материал электродов должен быть устойчив к эрозии под воздействием разряда. Обычно используются вольфрам, медь или их сплавы.

Плотность, вязкость, электропроводность и диэлектрическая проницаемость рабочей жидкости влияют на процесс разряда и распространение

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ударной волны. Вода является наиболее распространенной рабочей жидкостью благодаря своей высокой плотности, низкой вязкости и хорошей электропроводности. Однако, добавление солей или других веществ может изменить свойства воды и повлиять на эффективность ЭГГ. Например, добавление солей может увеличить электропроводность воды, что приведет к снижению напряжения пробоя и увеличению тока разряда.

Форма и размеры камеры влияют на фокусировку и распространение ударной волны. Использование рефлекторов или линз позволяет фокусировать ударную волну в определенной области и повысить ее эффективность. Размеры камеры должны быть достаточно большими, чтобы избежать отражения ударной волны от стенок камеры и образования интерференционных эффектов.

Эффективность передачи энергии от ударной волны к нагрузке зависит от соотношения акустических импедансов рабочей жидкости и нагрузки. Акустический импеданс определяется как произведение плотности среды на скорость звука в этой среде. Для эффективной передачи энергии необходимо, чтобы акустические импедансы рабочей жидкости и нагрузки были близки друг к другу. В противном случае большая часть энергии ударной волны будет отражаться от границы раздела сред.

В нашем случае рабочая жидкость это вода. Расстояние между электродами на уровне 1,25 мм.

Оценка напряжения пробоя: $U \approx 2,5 \text{ кВ}$ (принимаем $k = 20 \text{ кВ/см}$).

Выбор длительности импульса: $\tau = 10 \text{ мкс}$ (выбираем короткий импульс свойственный для разрядников).

Оценка энергии импульса достаточного для подрыва газовой смеси в камере при токе в 0,1 А вычислим как

$$E = U I \tau = 2,5 \text{ кВ} \cdot 10 \text{ мкс} \cdot 0,1 \text{ А} = 2,5 \text{ мДж.} \quad (2.5)$$

Таким образом, для создания ударной волны с энергией 0,0025 Дж необходимо использовать импульс напряжения 2,5 кВ и тока 0,1 А длительностью 10 мкс.

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При этом давление в камере при рабочем объеме $V = 10 \times 10 \times 10 = 1000 \text{ см}^3$ должно быть

$$P = \frac{2E}{V} = \frac{5 \text{ мДж}}{1000 \text{ см}^3} = \frac{0,005 \text{ Дж}}{0,001 \text{ м}^3} \approx 5 \text{ Па.} \quad (2.6)$$

Важно отметить, что этот расчет является упрощенным и не учитывает множество факторов, таких как потери энергии, нелинейные эффекты и особенности процесса разряда. Для более точного расчета необходимо использовать численные методы или эмпирические формулы, полученные на основе экспериментальных данных.

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3 Разработка электрической части устройства

3.1 Выбор основных схмотехнических решений для формирования заряда большой мощности

В самом простейшем случае, электрическую часть для реализации ЭГЭ можно реализовать так, как это показано на рисунке 3.1.

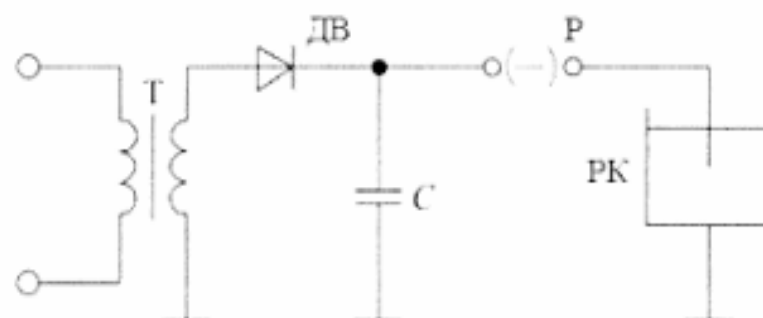
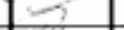


Рисунок 3.1 – Реализация электрической части ЭГЭ

Образование канала разряда при высоких напряжениях на рабочих электродах обусловлено появлением лидеров, которые вызывают потоки электронных лавин, срывающихся с отрицательного и устремляющихся к положительному электроду. В начале пробоя образуется несколько лидерных каналов, которые затем сливаются в один общий канал.

Промежуток времени t_l характеризует лидерную стадию разряда и определяется электрохимическими свойствами жидкости, напряжением, формой и размерами электродов. Чем больше уровень напряжения, меньше длина рабочего промежутка и площадь положительного электрода, тем меньше t_l . На рисунке 3.2 представлены зависимости тока, напряжения, мощности и сопротивления канала разряда от времени.

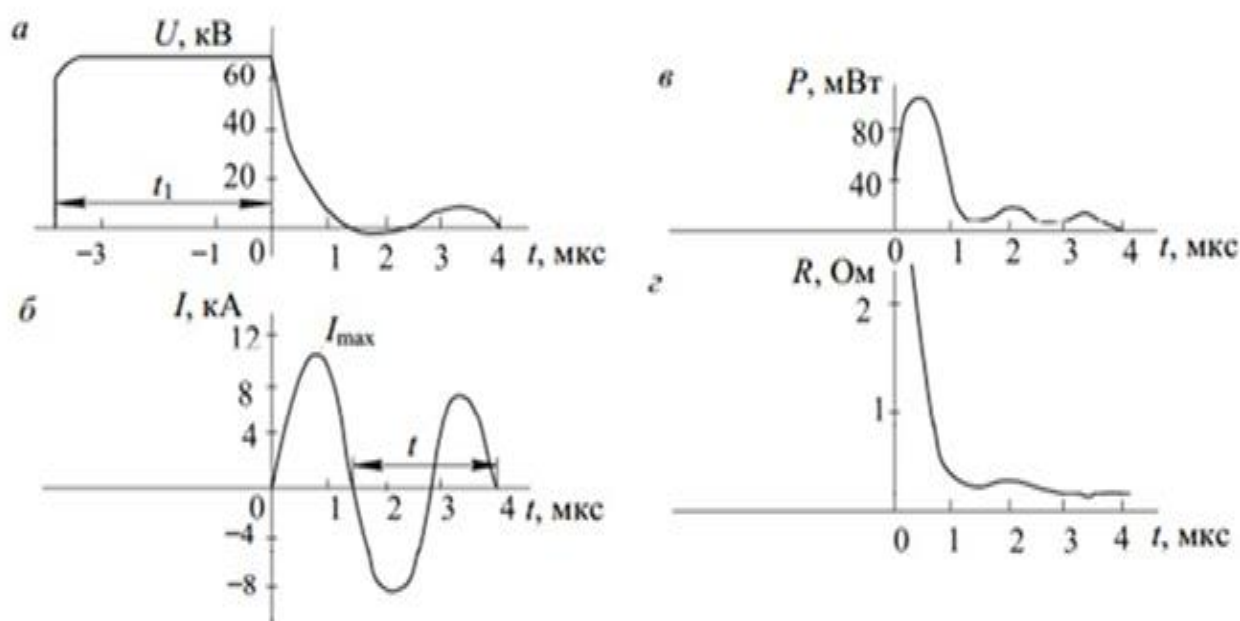
Лидерная, или стримерная, стадия продолжается от момента приложения напряжения к разрядному промежутку до образования токопроводящего канала между электродами.

					ПГУ 02. 11.03.04. 001 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Разработка электрической части устройства	Лит.	Лист	Листов	
Разраб.	Абдуллаев								
Провер.	Доросинский						34	82	
Реценз.						Группа 21ПД1			
Н. Контр.	Рыкова			15.06.23					
Утверд.									

Для того, чтобы компактифицировать устройство, предлагается использовать умножители напряжения. Одним из вариантов такого умножителя является схема Кокрофта-Уолтона, представляющая собой каскад из диодов и конденсаторов.

История начинается с 1932 года, когда физики Джон Кокрофт и Эрнест Уолтон разработали каскадную схему для питания ускорителей частиц. Их изобретение стало ключевым для ядерной физики, позволяя генерировать напряжения в сотни тысяч вольт. С тех пор технология эволюционировала, но осталась простой и доступной. Сегодня умножители используются в самых разных устройствах, от бытовых до высокотехнологичных, показывая свою универсальность и практическую ценность.

Данное устройство преобразует относительно низкое переменное напряжение или пульсирующее напряжение в высоковольтное постоянное напряжение.



а) зависимость напряжения; б) зависимость тока; в) зависимость мощности; г) зависимость сопротивления

Рисунок 3.2 – Зависимости напряжения, тока, мощности и сопротивления канала разряда от времени

Преимущества и недостатки этих устройств можно сформулировать следующим образом:

- компактность, за счет отсутствия катушек и механических частей;
- простота сборки: требуется минимум компонентов;
- надежность: нет изнашиваемых элементов;
- ограничение по току: малая выходная мощность;
- потери энергии: падение напряжения под нагрузкой;
- зависимость от частоты: эффективность варьируется с частотой входного сигнала [6].

Эти характеристики делают умножители идеальными для задач, где нужен высокий вольтаж при низком потреблении тока, таких как питание электронных ламп или научных датчиков.

Имеется несколько конфигураций таких устройств, каждая со своими особенностями. Рассмотрим основные варианты.

Один из вариантов такого генератора представлен на рисунке 3.3.

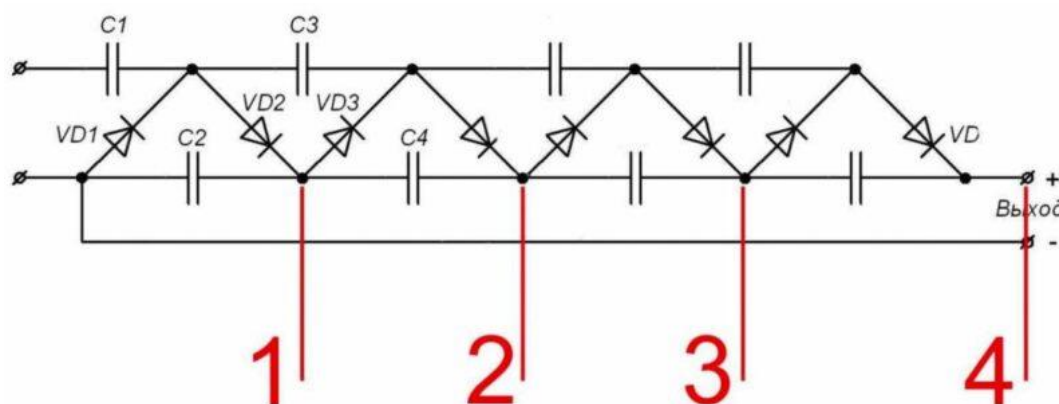


Рисунок 3.3 – однополупериодный каскадный генератор
Кокрофта-Уолтона с лестничной структурной

Это каскадный умножитель с «лестничной» структурой из конденсаторов и диодов. Каждая ступень добавляет напряжение, равное входному. Рабочий состоит из нескольких этапов. Первый полупериод: зарядка первого конденсатора через диод. Второй полупериод: перетекание заряда на следующую ступень. Накопление: последовательное увеличение напряжения по каскаду и т.д.

Такой умножитель напряжения преобразует переменное напряжение в высокое постоянное напряжение. Умножитель строится из лестницы (секций, ступеней, каскадов) конденсаторов и диодов. В отличие от трансформатора такой метод не требует тяжёлого сердечника и высоковольтной изоляции, так как напряжения на всех ступенях приблизительно равны. Используя только конденсаторы и диоды, умножители напряжения такого типа могут преобразовывать относительно низкое напряжение в очень высокое, при этом оказываясь много легче и дешевле по сравнению с высоковольтными трансформаторами. Ещё одним преимуществом является возможность снимать более низкие напряжения с любого каскада схемы, так же как в трансформаторе с многоотводной обмоткой.

$$U_{\text{вых}} = 2nU_{\text{вх}}, \quad (3.1)$$

где n – число каскадов;

$U_{\text{вх}}$ – амплитуда входного переменного напряжения;

$U_{\text{вых}}$ – выходное постоянное напряжение.

Другим вариантом реализации генератора Кокрофта-Уолтона, является трехкаскадный двухполупериодный умножитель, представленный на рисунке 3.4.

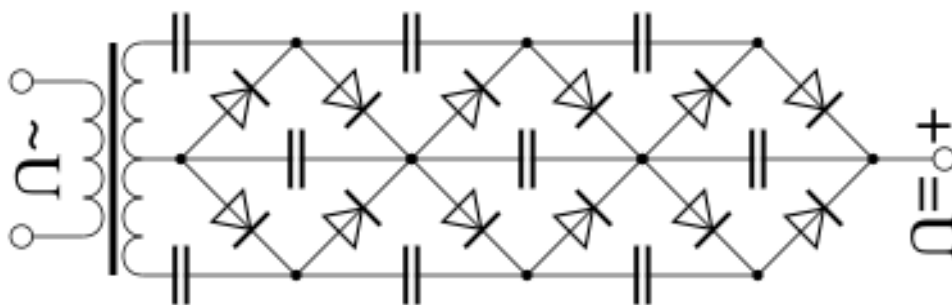


Рисунок 3.4 – двухполупериодный каскадный генератор
Кокрофта-Уолтона с лестничной структурной

Несмотря на свои теоретические недостатки и ограничения, умножитель напряжения стал такой же классикой в электронной схемотехнике для получения высокого постоянного напряжения, как и двухполупериодный выпрямитель (диодный мост) для получения постоянного тока из переменного.

Особенности схемы:

- простота конструкции и сборки;
- высокая чувствительность к нагрузке;
- применение в высоковольтных системах.

Схема Вилларда (рисунок 3.5), является альтернативой с измененным подключением элементов. Ее отличия, это иная последовательность диодов и конденсаторов за счет чего достигается улучшенная работа на высоких частотах и снижение паразитных потерь.

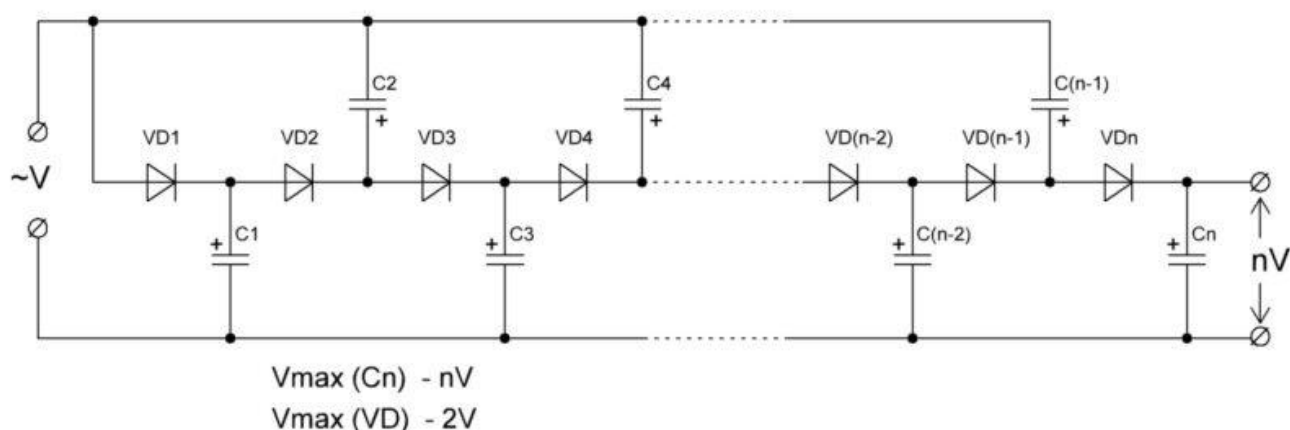


Рисунок 3.5 – однополупериодный каскадный генератор Вилларда

Применяется в условиях, где требуется стабильность. Одно и двухполупериодные схемы:

- однополупериодные: используют одну полуволну сигнала, проще в реализации, но менее эффективны;
- двухполупериодные: задействуют обе полуволны, обеспечивая большее напряжение при тех же компонентах.

Выбор схемы зависит от задачи, поэтому приведем основные достоинства и недостатки каждой из схем (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – достоинства и недостатки умножителей

Параметр	Схема Кокрофта-Уолтона	Схема Вилларда
Структура	«Лестничная» конфигурация конденсаторов и диодов	Альтернативное соединение диодов и конденсаторов
Количество ступеней	Многоступенчатая (n ступеней умножает $V_{\text{вход}}$)	Многоступенчатая с измененной передачей заряда

Продолжение таблицы 3.1

Выходное напряжение	$V_{\text{выход}} = n \times V_{\text{вход}}$ (идеально), с потерями ниже	$V_{\text{выход}} = n \times V_{\text{вход}}$, меньше паразитных потерь
Эффективность	Высокая при малой нагрузке, падает при большом токе	Выше на высоких частотах, стабильнее
Сложность сборки	Средняя: стандартные компоненты, простая схема	Выше: сложнее подключение элементов
Частотная зависимость	Лучше на низких частотах (50–60 Гц)	Эффективнее на высоких частотах (кГц)
Компоненты	Конденсаторы и диоды в равном числе ($2n$ штук)	Конденсаторы и диоды, сложнее конфигурация
Параметр	Схема Кокрофта-Уолтона	Схема Вилларда
Преимущества	Простота, высокое напряжение, широкое применение	Устойчивость к высоким частотам, меньше потерь
Недостатки	Падение напряжения под нагрузкой	Усложненная конструкция
Применение	Рентген, ускорители частиц, высоковольтные стенды	Высокочастотные системы, точные приборы

Исходя из требований к измельчителю, целесообразно применить однополупериодный генератор Кокрофта-Уолтона, который будет управляться от микроконтроллера.

3.2 Разработка схемы электрической функциональной для управления процессом измельчения

Устройство, представленное на рисунке 2.1 работает следующим образом: насос-1 прокачивает жидкость (например, воду) через замкнутый контур, образованный входным трубопроводом насоса-1, самим насосом -1, трубой соединения выхода насоса-1 и камеры кавитации -2, входным отверстием фильтра-3 и самим этим фильтром, трубой на выходе фильтра -3 и входе насоса-1. При прокачке воды по этому замкнутому контуру в камере кавитации образуется закручивающийся поток, который не способен создать кавитацию, но не дает осесть обрабатываемому веществу (например, песку). Мощности насоса-1 хватает только на организацию циркуляции взвеси песка в воде, но недостаточно для появления кавитационного эффекта при попадании водной взвеси песка в кавитационную камеру из входного патрубка насоса -1.

Для организации кавитационного измельчения песка, его активации, или

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

дезинфекции из источника горючего газа -9 (например, водорода) по соответствующему трубопроводу поступает водород в смеситель -8, из источника газа окислителя -10 поступает окислитель (например, кислород) на второй вход смесителя -8. Смеситель -8 настроен таким образом, чтобы осуществлять смешивание водорода и кислорода в пропорции два к одному, образуя тем самым гремучий газ, способный сгорать до воды без газовых остатков. Гремучий газ поступает в виде пузырьков в кавитационную камеру -2, где смешивается с закрученной пульпой воды и песка. При этом часть гремучего газа поднимается в верхнюю часть кавитационной камеры, образуя там газовый конус над вращающейся пульпой песка. По мере поступления газа в кавитационную камеру газовый конус увеличивается в объеме. При этом пузырьки гремучего газа не могут попасть в насос-1, так как на входе насоса-1 расположен фильтр-3, препятствующий прохождению пузырьков. Объем поступившего газа в кавитационную камеру заранее известен и блок управления – 7 заранее настроен таким образом, чтобы при образовании газового конуса требуемого размера подать высокое напряжение на свечу зажигания -4, через коммутатор- 5 от блока высокого напряжения -6.

Появление высокого напряжения на центральном электроде свечи зажигания -4 приводит к появлению на ее разрядных электродах искры. Искра свечи зажигания -4 воспламеняет конус гремучего газа под ней, который взрывается, обеспечивая скачек давления в кавитационной камере -2. Скачек давления в кавитационной камере -2 приводит к детонации всех пузырьков гремучей газовой смеси во всем объеме песчано-водяной пульпы. Каждый из пузырьков расширяется и затем схлопывается, придавая ускорения близ лежащим молекулам воды и песчинкам в направлении центра влопывающегося пузырька. Происходит соударение частиц измельчаемого вещества друг о друга и о молекулы воды, это взаимодействие и приводит к эффекту кавитационного измельчения песка до размеров частиц в несколько микрон. Процесс повторяют многократно до нужного измельчения частиц обрабатываемого вещества (песка).

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При этом процесс измельчения идет интенсивно, но медленно из-за необходимости формировать конус взрывающейся газовой смеси в каждом цикле воздействия на измельчаемое вещество. Процесс измельчения идет автоматически заранее заданное время [7].

В данной работе необходимо разработать электрический блок для управления процессом измельчения. Схема электрическая функциональная для этого блока представлена в приложении Б.

В данной схеме присутствуют два шестикаскадных генератора Кокрофта-Уолтона питающихся от сети 220 В, которые необходимы для формирования искрового разряда. Разряд формируется как на электродах Э2 и Э3, так и на свече зажигания (электрод Э1). Управляет накачкой генераторов блок управления, который через коммутаторы К1 и К2 включает или отключает подачу сетевого напряжения на генераторы через коммутаторы К1 и К2. Для синхронизации по времени в структуру введен канал синхронизации, который преобразует переменного напряжение в прямоугольные импульсы.

Канал синхронизации необходим для определения времени необходимого для зарядки генераторов, а также задания интенсивности разрядов, и как следствие управления режимами измельчения. Для определения необходимого уровня заряда в структуру введен канал обратной связи на оптронах. На схеме Э2 он является частью блока управления (БУ).

Разряд же, происходит через разрядники Р1 и Р2.

3.3 Разработка схемы электрической принципиальной для управления процессом измельчения

3.3.1 Проектирование умножителя

Проектирование умножителя напряжения требует точного подхода к параметрам схемы. Процесс проектирования включает несколько этапов.

Для определения числа ступеней имеем, что вход 220 В, а необходимое напряжение на выходе 2500 кВт. Отсюда число ступеней

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$n = \frac{2500}{2 \cdot 220} = 5,68 \quad (3.2)$$

Выбираем число ступеней равное 6, для учета потерь на проводниках и сопротивлении конденсаторов.

Учет потерь на диодах: для 12 диодов (2 на ступень) падение

$$12 \times 0,7 \text{ В} = 8,4 \text{ В} \quad (3.3)$$

Расчет емкости конденсаторов

$$C = \frac{I}{f \cdot \Delta U} = \frac{0,1}{50 \cdot 20} = \frac{0,1}{1000} = 100 \text{ мкФ}, \quad (3.4)$$

где I — ток нагрузки (0,002 А), f — частота (50 Гц), ΔV — допустимое падение напряжения (0,5 вольт). $C = 0,002 / (50 \times 0,5) = 80 \text{ мкФ}$.

Для этого выберем конденсаторы *KZK White Line* 100мкф 400В 5% (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Вид конденсаторов *KZK White Line*

Выбор диодов: обратное напряжение > 48 вольт, например, 1N4007 (1000 вольт). Проверка схемы: симуляция в программе (например, *LTspice*) или тестовая сборка. Дополнительные параметры для учета: Частота сигнала: влияет на скорость зарядки конденсаторов. Ток нагрузки: определяет стабильность напряжения. Запас прочности: диоды и конденсаторы берутся с превышением рабочих значений.

Умножители сталкиваются с рядом трудностей при эксплуатации. Рассмотрим основные проблемы и способы их устранения. Типичные неисправности: Падение напряжения под нагрузкой: выход снижается из-за

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

разряда конденсаторов. Нагрев компонентов: диоды и конденсаторы перегреваются при большом токе. Электромагнитные помехи: переключение диодов создает шум. Нестабильность напряжения: колебания входного сигнала влияют на выход. Пробой элементов: превышение рабочего напряжения.

Решения для каждой проблемы: Падение напряжения: увеличить емкость конденсаторов или частоту сигнала.

Нагрев: использовать компоненты с запасом по мощности (диоды на 200 В вместо 100 В), добавить пассивное охлаждение.

Помехи: установить фильтрующий конденсатор параллельно нагрузке или экранировать схему металлическим корпусом.

Нестабильность: подключить стабилизатор напряжения на входе.

Пробой: выбрать конденсаторы и диоды с рабочим вольтажом в 2–3 раза выше расчетного.

Умножители – не единственный способ повышения напряжения. Сравним их с трансформаторами и импульсными преобразователями. Характеристики методов: Трансформаторы: используют индукцию, высокая мощность, большие размеры. Импульсные преобразователи: работают на высокой частоте, высокий КПД, сложная схема. Умножители напряжения: каскадное накопление заряда, простота, ограниченный ток. Преимущества каждого метода: Трансформаторы: способны выдавать киловатты энергии. Импульсные преобразователи: КПД до 90%, компактность. Умножители: минимальная стоимость и легкость сборки. Недостатки: Трансформаторы: громоздкость, необходимость переменного тока. Импульсные преобразователи: сложность настройки, дорогие компоненты. Умножители: низкая мощность, падение напряжения под нагрузкой. Ситуации применения: Высокая мощность (освещение, двигатели): трансформатор. Компактные устройства с высоким КПД (ноутбуки): DC-DC преобразователь. Высокое напряжение при малом токе (рентген): умножитель. Выбор зависит от требований к устройству и доступных ресурсов. Тенденции Умножители напряжения продолжают развиваться в соответствии с современными

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

технологическими достижениями. Одним из ключевых направлений является миниатюризация. Благодаря использованию *SMD*-компонентов (поверхностного монтажа) размеры схем значительно уменьшаются, что делает их пригодными для компактных устройств, таких как портативные медицинские приборы. Например, в дефибрилляторах умножители обеспечивают высокое напряжение в ограниченном пространстве, что ранее было сложно реализовать без громоздких трансформаторов. Еще одна важная область — интеграция в системы возобновляемой энергетики. Солнечные панели и ветрогенераторы выдают низкое напряжение, которое нужно повышать для эффективной передачи или зарядки аккумуляторов. Умножители напряжения предлагают простое решение для таких систем, особенно в небольших автономных установках, где трансформаторы слишком громоздки, а импульсные преобразователи избыточно сложны. В ветрогенераторах они помогают поднять напряжение до уровня, пригодного для практического использования. Прогресс в материалах также играет значительную роль. Полимерные конденсаторы с высокой емкостью позволяют уменьшить потери и повысить стабильность работы схемы под нагрузкой. Диоды на основе карбида кремния (*SiC*) выдерживают большие напряжения и температуры, что расширяет диапазон применения умножителей в высоковольтных системах, таких как питание лазеров. Эти улучшения делают устройства более надежными и долговечными, что особенно важно для промышленных и научных задач. Современные умножители начинают интегрироваться с системами управления. Подключение микроконтроллеров позволяет адаптировать работу схемы к изменяющимся условиям, например, регулировать число активных ступеней в зависимости от нагрузки. Это открывает новые возможности для высокоточных устройств, где требуется гибкость. Кроме того, технологии сборки совершенствуются, снижая потери энергии и повышая общую эффективность. В перспективе можно ожидать дальнейшее уменьшение размеров до уровня микросхем, что сделает умножители частью интегральных решений. Повышение рабочей частоты до мегагерцового диапазона позволит

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

использовать их в высокочастотных системах, а сочетание с умными технологиями управления расширит их функциональность. Эти изменения укрепляют позиции умножителей в современной электротехнике. Вывод Умножители напряжения остаются важным инструментом в электротехнике благодаря своей способности генерировать высокое напряжение с использованием простых и доступных компонентов — конденсаторов и диодов. Их конструкция основана на каскадном накоплении заряда, что позволяет получать значительные напряжения из скромных источников. Это делает их удобными для применения в самых разных областях, включая электронику, научные исследования и промышленные системы.

3.3.2 Выбор индикатора

В качестве устройства визуального отображения информации был выбран символьный ЖК-индикатор WH2004L, поскольку жидко-кристаллические-модули являются одними из основных средств вывода информации для современных цифровых систем. Представляют собой недорогое и удобное решение, позволяющее сэкономить время и ресурсы при разработке новых изделий. Обеспечивают отображение большого объема информации при хорошей различимости и низком энергопотреблении, благодаря чему широко используются в измерительных приборах.

Внешний вид индикатора и его габаритные параметры представлены на рисунке 3.7.

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

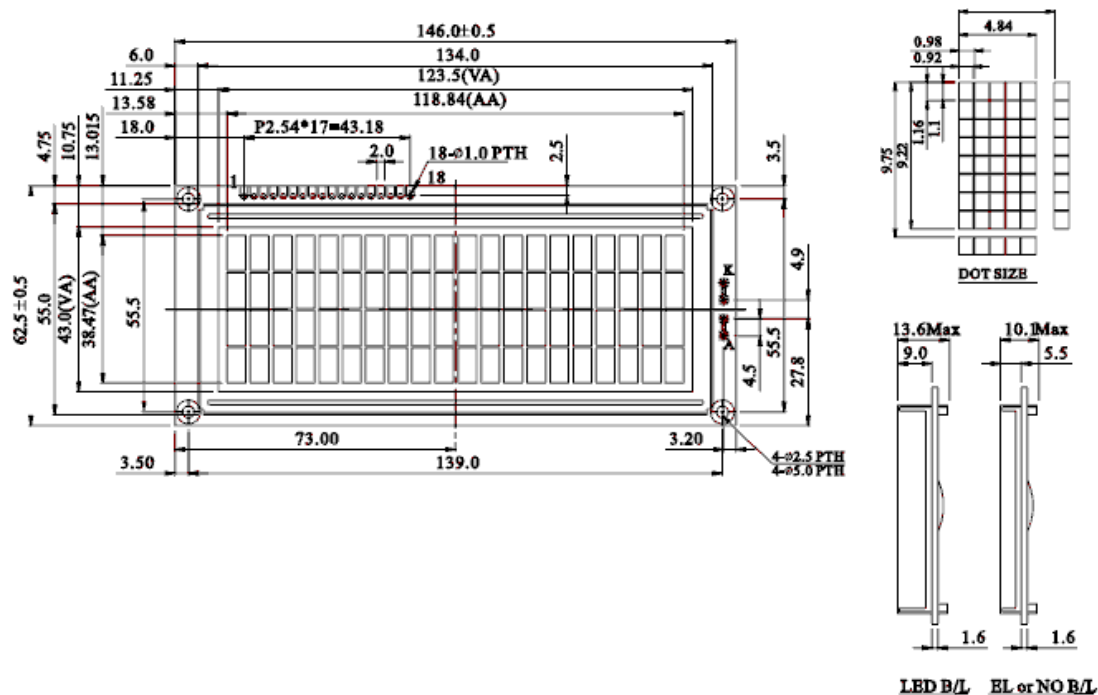


Рисунок 3.7 – Вид индикатора

Данное устройство удобно тем, что содержит встроенный генератор символов и позволяет осуществлять программный вывод информации по специальному интерфейсу, без использования дополнительных устройств

3.3.3 Выбор микроконтроллера

В современной электронике особое место занимают микроконтроллеры со встроенными аналоговыми компонентами. Одним из наиболее интересных представителей этого класса является ADuC845 от Analog Devices - специализированное решение для прецизионных измерений и систем управления. В данной статье мы подробно рассмотрим архитектуру, особенности и практическое применение этого микроконтроллера.

ADuC845 построен на базе проверенного ядра 8051, работающего на частоте до 12 МГц. Однако его главной отличительной особенностью является уникальный набор аналоговых периферийных устройств:

- Высококачественный 24-битный Σ - Δ АЦП с:
- Реальной разрешающей способностью 19,5 бит
- Встроенным программируемым усилителем (PGA)

- Двумя прецизионными источниками тока (200 мкА и 10 мкА)
- 12-битный ЦАП с выходным напряжением 0-2,5В
- Полноценный аналоговый фронт-энд, включающий:
- Мультиплексор аналоговых входов
- Встроенный источник опорного напряжения
- Систему калибровки
- Память и вычислительные ресурсы
- Микроконтроллер оснащен:
- 62 КБ Flash-памяти для хранения программы
- 4 КБ EEPROM для хранения данных
- 2 КБ оперативной памяти
- Встроенным загрузчиком для удобного программирования
- Цифровые интерфейсы и таймеры
- ADuC845 предлагает богатый набор цифровых периферийных

устройств:

- 2 аппаратных ШИМ-контроллера
- Три 16-битных таймера/счетчика
- Полный набор последовательных интерфейсов (UART, SPI, I²C)
- 32 программируемые линии ввода/вывода
- Особенности энергопотребления
- Микроконтроллер отличается продуманной системой управления

питанием:

- Рабочее напряжение 2.7-5.25В
- Режимы пониженного энергопотребления (Idle и Power-Down)
- Автоматическое отключение неиспользуемых модулей

ADuC845 нашел широкое применение в различных областях таких как промышленная автоматизация (системы контроля температуры и давления, умные датчики технологических параметров, промышленные контроллеры), медицинская техника (портативные диагностические приборы, системы

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

мониторинга жизненных показателей, лабораторное оборудование) и измерительная техника (прецизионные мультиметры, анализаторы параметров среды, тестовое оборудование).

Структурная схема ADUC845 представлена на рисунке 3.8.

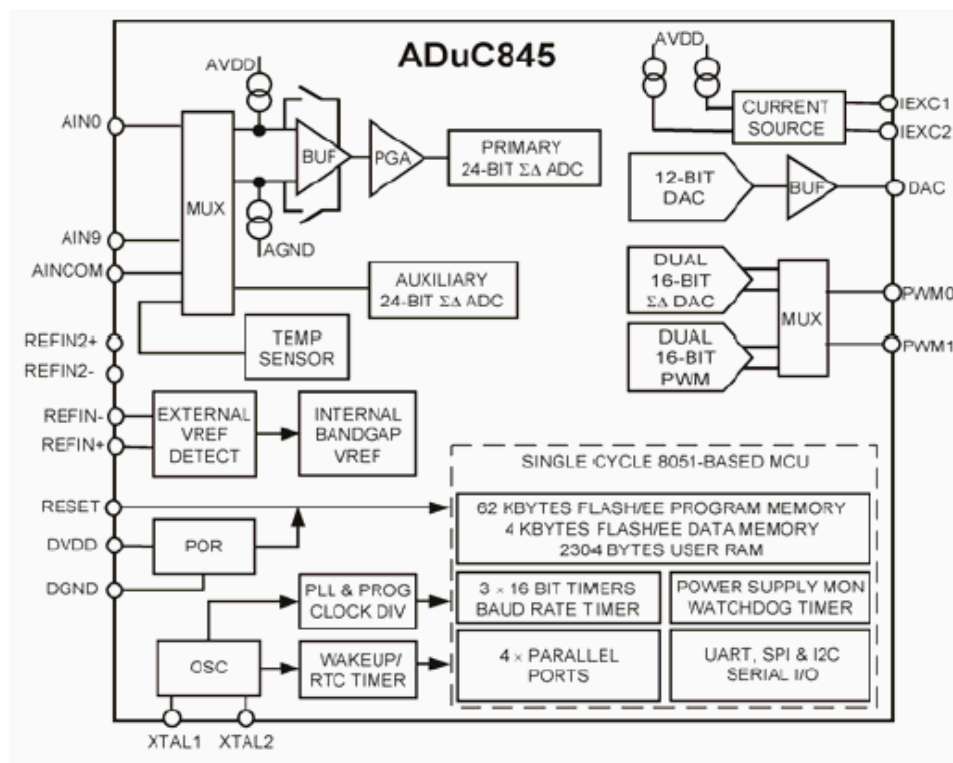


Рисунок 3.8 – Структурная схема ADuC845

При создании систем на базе ADuC845 разработчики получают ряд преимуществ:

- 1) Значительное сокращение компонентной базы благодаря встроенным аналоговым модулям
- 2) Упрощение схемотехники за счет интеграции всех необходимых компонентов
- 3) Высокая точность измерений без необходимости использования внешних АЦП
- 4) Гибкость в проектировании благодаря программируемым аналоговым цепям

Это возможно благодаря тому, что Analog Devices предлагает полный

набор инструментов для работы с ADuC845 такие как официальные среды разработки и компиляторы, отладочные наборы и программаторы, образцы программного кода и библиотеки и детальную техническую документацию.

ADuC845 представляет собой удачное сочетание вычислительной мощности, точных аналоговых интерфейсов и энергоэффективности. Его архитектура специально оптимизирована для измерительных систем, что делает этот микроконтроллер отличным выбором для разработчиков, работающих в области промышленной автоматизации, медицинской техники и измерительных систем. Благодаря высокой степени интеграции и продуманной периферии, ADuC845 позволяет создавать компактные и надежные устройства с минимальными затратами на разработку.

Схема подключения кварцевого резонатора представлена в принципиальной схеме (см. приложение А) и реализована на кварцевом резонаторе, где внешние емкости не требуются. Кварцевый резонатор соединен своими выводами с выводами XTAL1 и XTAL2 микроконтроллера. Эти выводы являются как входом, так и выходом для схемы тактирования. В некоторых реализациях тактовый сигнал можно использовать для управления внешней периферией. Для контроля данно сигнала и проверки его наличия и требуемых параметров существует выход ALE. При этом между выводом и внешней схемой обязательно должен быть буфер.

Номиналы элементов были выбраны исходя из рекомендаций фирмы-изготовителя, а именно $Z1 = 32,368 \text{ КГц}$,

3.3.4 Выбор коммутатора

В качестве коммутаторов, для подачи сетевого напряжения на умножители было выбрано твердотельное реле G3MB-202P 5V 2A (рисунок 3.9). Его достоинством является гальваническая изоляция и возможность управлять логическим уровнем с вывода микроконтроллера.

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Рисунок 3.9 – реле G3MB-202P

Основные технические характеристики устройства:

- управляющее напряжение: 5 В DC;
- коммутируемое напряжение: 75–264 В AC;
- максимальный ток нагрузки: 2 А;
- тип выхода: *MOSFET*;
- корпус: *SIP-4*;
- защита от перенапряжений и перегрева;
- температурный диапазон работы: от $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- электрическая прочность: 2500 В между обмоткой и выходом.

Данное реле применяется для управления переменными нагрузками с большими токами до 2 А.

3.3.2 Выбор оптронной обратной связи

В качестве оптронной обратной связи применены оптроны 6N137, который являются высокоскоростными оптопарами с логическими уровнями на выходе, обеспечивает скорость передачи данных 10 Мбит/с.

Технические характеристики изделия:

- напряжение питания: $+4,5\text{--}+5,5\text{ В}$;
- максимальный выходной ток: 25 мА;
- напряжение изоляции: 2,5 кВ;
- тип выхода: диод + усилитель;
- максимальное прямое напряжение диода: 1,75 В;
- максимальное обратное напряжение диода: 5 В;

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- ток коллектора: 50 мА;
- ток диода: 20 мА;
- количество каналов: 1;
- максимальное коммутируемое напряжение: 20 В;
- время включения: 0,025 нс;
- время выключения: 0,025 нс;
- температурный диапазон: от –40 до +85 °С;

Обратная связь рассчитана так, чтобы при достижении напряжения на умножителях более 2 кВ оптрон срабатывал. Для этого необходимо, чтобы при достижении напряжения 2 кВ через фотодиод тек ток 10 мА. Следовательно, токоограничивающий резистор имеет номинал [5]

$$R = \frac{2000 \text{ В}}{0,01 \text{ А}} = 200 \text{ кОм.}$$

В качестве выходного прибора применён фотодиод, что обеспечивает хороший показатель линейности передачи данных.

3.3.2 Питание и управление

Питание логической части устройства осуществляется напряжением +5 В, для чего применен стабилизатор LM7805. Заряд генераторов Кокрофта-Уолтона до уровня 2,5 кВ осуществляется за 1 с. При этом частота следования циклов заряда и разряда устанавливается с помощью управляющих кнопок SW1 и SW2.

Также через данные кнопки можно задать длительность цикла измельчения.

Все необходимые параметры вплоть до времени оставшегося до конца заданного цикла отображаются на индикаторе.

Для данного типа микроконтроллера рекомендуемая схема сброса и запуска представлена микросхемой ADM810, которая является супервизором питания (рисунок 3.10).

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

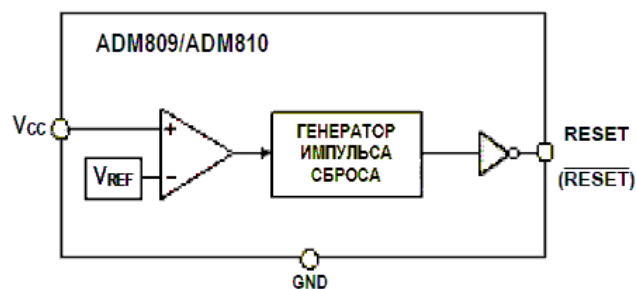


Рисунок 3.10 – Функциональная схема *ADM810*

Генераторы сброса подобного рода, отслеживают уровень питающего напряжения в составе микропроцессорной или другой системы и выдают сигнал сброса при включении, выключении и при понижении напряжения питания. Для различных конструкций имеется набор генераторов сброса с различными параметрами и возможностями. ИС *ADM809* и *ADM810* обеспечивают номинальную длительность импульса сброса 240 мс и поставляются в семи вариантах с напряжениями срабатывания от 2.32 до 4.63 В. Микросхема *ADM809* выдает сигнал сброса низкого логического уровня, тогда как ИС *ADM810* – сигнал высокого уровня.

4 Требования по безопасности при эксплуатации электрических приборов и устройств

4.1 Требования безопасности к электротехническому изделию

Допустимые значения шума и вибрации электротехнических изделий, создающих шум или вибрацию, должны указываться в стандартах и технических условиях на конкретные виды изделий. Изделия, которые создают электромагнитные поля, должны иметь защитные элементы (экраны, поглотители и т. п.) для ограничения воздействия этих полей в рабочей зоне до допустимых уровней. Требования к этим защитным элементам должны быть указаны в стандартах и технических условиях на конкретные виды изделий. Допускается для ограничения воздействия электромагнитного поля использовать защитные элементы, не входящие в состав изделия. Изделия, являющиеся источником теплового, оптического, рентгеновского излучения, а так же ультразвука, должны быть оборудованы средствами для ограничения интенсивности этих излучений и ультразвука до допустимых значений. Требования к средствам, ограничивающим интенсивность излучений и ультразвука, а так же допустимая температура нагрева внешней оболочки изделия, должны указываться в стандартах и технических условиях на конкретные виды изделий. Допускается для ограничения воздействия излучений использовать защитные элементы, не входящие в состав изделия.

Требования о наличии в конструкции изделия элементов, предназначенных для защиты от случайного прикосновения к движущимся, токоведущим, нагревающимся частям изделия, и элементов для защиты от опасных и вредных материалов конструкции и веществ, выделяющихся при эксплуатации, а так же требования к этим защитным элементам, должны указываться в стандартах и технических условиях на конкретные виды изделий. Электрическая схема изделия должна исключать возможность его самопроизвольного включения и отключения. Расположение и соединение частей изделия должны быть

					ПГУ 02. 11.03.04. 001 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Требования по безопасности при эксплуатации электрических приборов и устройств	Лит.	Лист	Листов	
Разраб.	Абдиллаев								
Провер.	Доросинский						53	82	
Реценз.						Группа 21ПД1			
Н. Контр.	Рыжова								
Утверд.									

выполнены с учётом удобства и безопасности наблюдения за изделием при выполнении сборочных работ, проведении осмотра, испытаний и обслуживания. При необходимости изделия должны быть оборудованы смотровыми окнами, люками и средствами местного освещения. Требования к смотровым окнам, люками и средствами местного освещения должны указываться в стандартах и технических условиях на конкретные виды изделий.

Конструкция изделия должна исключать возможность неправильного подсоединения его сочленяемых токоведущих частей. Конструкция штепсельных розеток и вилок для напряжений выше 42 В должна отличаться от конструкции розеток и вилок для напряжений 42 В и менее. При необходимости изделия должны быть оборудованы сигнализацией, надписями и табличками. Предупредительные сигналы, надписи и таблички должны применяться для указания на: включенное состояние изделия, наличие напряжения, пробой изоляции, режим работы изделия, запрет доступа внутрь изделия без принятия соответствующих мер, повышение температуры отдельных частей изделия выше допустимых значений, действие аппаратов защиты и т.п. Знаки, используемые при выполнении предупредительных табличек и сигнализации, должны размещаться на изделиях в местах, удобных для обзора. Изделия и их составные части массой более 20 кг или имеющие большие габаритные размеры должны иметь устройства для подъёма, опускания и удержания на весу при монтажных и такелажных работах, в соответствии с [10].

Выбор изоляции изделий и его частей следует определять классом нагревостойкости, уровнем напряжения электрической сети, а также значениями климатических факторов внешней среды. Значение электрической прочности изоляции и значение её соотавления должны указываться в стандартах и технических условиях на конкретные виды изделий. Допускается для изделий, работающих при напряжении не выше 12 В переменного тока и 36 В постоянного тока, не приводить в указанных документах значения электрической прочности изоляции и её сопротивления. Изоляция частей изделия, доступных для

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

прикосновения, должна обеспечивать защиту человека от поражения электрическим током и электрической дугой. Покрытие токоведущих частей изделий лаком, эмалью или аналогичными материалами не является достаточным для защиты от поражения при непосредственном прикосновении к этим частям и для защиты от переброса электрической дуги от токоведущих частей изделия на другие металлические части (кроме тех случаев, когда применяемые для покрытия материалы специально предназначены для создания такой защиты).

Органы управления должна снабжаться надписями или символами, указывающими управляемый объект, к которому они относятся, его назначение и состояние («включено», «отключено», «ход», «тормоз» и т.д.) соответствующее данному положению органа управления, и (или) дающими другую необходимую для конкретного случая информацию. При автоматическом режиме работы изделия кнопки для наладки и органы ручного управления, кроме органов аварийного отключения, должны быть отключены, за исключением случаев, обусловленных технологической необходимостью. Пользование органами ручного управления и регулировки в последовательности, отличной от установленной, не должно приводить к возникновению опасных ситуаций или должно быть исключено введением блокировки. У изделий, имеющих несколько органов управления для осуществления одной и той же операции с разных постов (например, для дистанционного управления и для управления непосредственно на рабочем месте), должна быть исключена возможность одновременного осуществления управления с различных постов. Кнопки отключения должны выполняться без указанной блокировки. В изделиях, имеющих несколько кнопок аварийного отключения, из-за большой протяжённости или ограниченности обзора, должны быть применены кнопки с фиксацией, которые после нажатия не возвращаются в первоначальное состояние до тех пор, пока не будут принудительно приведены в это состояние. Органы управления, имеющие фиксацию в установленном положении, должны снабжаться указателем (в отдельных случаях и шкалой), показывающим положение и необходимое

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

направление перемещения органа управления. Металлические валы ручных приводов, рукоятки маховички, педали должны быть изолированы от частей изделия, находящихся под напряжением, и иметь электрический контакт с несъёмными частями изделия, на которых расположен элемент для заземления. Температура на поверхности органов управления, предназначенных для выполнения операций без применения средств индивидуальной защиты рук, а также для выполнения операций в аварийных ситуациях во всех случаях, не должна превышать плюс 40 °С для органов управления, выполненных из металла, и плюс 50 °С – для выполненных из материалов с низкой теплопроводностью. Орган управления, которым осуществляется останов (отключение), должен быть выполнен из материала красного цвета. Орган управления, которым осуществляется пуск (включение), должен иметь ахроматическую расцветку (чёрную, серую или белую). Допускается выполнять этот орган зелёного цвета. Орган управления, которым может быть попеременно вызван останов или пуск изделия, должен быть выполнен только ахроматического цвета. Орган управления, которым осуществляется воздействие, предотвращающее аварию изделия, должен быть выполнен из материала жёлтого цвета. Орган управления, которым осуществляются операции, отличные от перечисленных выше, должен быть ахроматического или синего цвета.

Кнопка аварийного отключения должна выполняться увеличенного по сравнению с другими кнопками размера. Кнопка «Пуск» должна быть утоплена не менее, чем на 3 мм, или иметь фронтальное кольцо. Допускается выполнять не утопленными и без фронтального кольца кнопки, имеющие свободный ход не менее чем на 4 мм. Для расположения часто используемых органов управления следует использовать зоны:

- 1000-1400 мм от уровня пола (рабочей площадки) при управлении изделием стоя;
- 600-1000 мм при управлении изделием сидя.

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для расположения редко используемых органов управления следует использовать зоны:

- 1000-1600 мм от уровня пола (рабочей площадки) при управлении изделием стоя;

- 600-1200 мм при управлении изделием сидя.

Для органов управления, предназначенных для осуществления тонкой регулировки, необходимо, при работе стоя, использовать зону 1200-1400 мм от уровня пола (рабочей площадки), а при работе сидя 800-1000 мм. Установку измерительных приборов, требующих постоянного наблюдения, следует производить таким образом, чтобы шкала каждого из приборов находилась на высоте от пола (рабочей площадки):

- 1000-1800 мм – при работе стоя;

- 800-1300 мм – при работе сидя.

Установку измерительных приборов, по которым необходимо производить точные отсчёты, следует производить таким образом, чтобы шкала каждого из приборов находилась на высоте от пола (рабочей площадки):

- 1200-1600 мм – при работе стоя;

- 800-1200 мм – при работе сидя.

Усилия на рукоятки, маховички, кнопки и педали не должны превосходить значений, приведённых в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Частота включений	Усилия при управлении				
	рычагом и поворотной рукояткой посредством пальцев	рукояткой маховичком посредством рук	кнопкой		педалью
			Посредством пальцев	Посредством ладоней	
До 3 в час	5,0	35	10	15	30
До 30 в час	2,5	10	5	8	15
Свыше 30 в час	1,0	7	4	5	8

При выполнении блокировки должна быть исключена возможность её ложного сбрасывания. Блокировка изделий, предназначенных для установки в

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

помещениях, входы в которые не снабжены в свою очередь блокировкой, и имеющие удерживающие электромагниты или взведённые пружины, должна быть выполнена таким образом, чтобы исключалась опасность, связанная с перемещением частей изделия вследствие случайного снятия или подачи напряжения в цепи управления. Оболочки должны соединяться с основными частями изделий в единую конструкцию, закрывать опасную зону и сниматься только при помощи инструмента. Не допускается, чтобы винты (болты) для крепления токоведущих и движущихся частей изделия и для крепления его оболочки были общими. При необходимости оболочки должны иметь рукоятки, скобы и другие устройства для удобного и безопасного удерживания их при съёме или установке. Требования к этим устройствам и необходимость их установки должны быть указаны в стандартах и технических условиях на конкретные виды изделий. При снятии установке оболочки, открывании в ней дверец и люков должна исключаться возможность прикосновения её частей (или приближение их на недопустимое расстояние) к деталям, находящимся под напряжением, а так же к движущимся частям изделия. Ввод проводов в корпуса, коробки выводов, щитки и другие устройства следует осуществлять через изоляционные детали. При этом должна исключаться возможность повреждения проводов и их изоляции в процессе монтажа и эксплуатации изделия. Должно быть предотвращено расщепление многожильных проводов на отдельные жилы. При применении проводов с оплёткой должно быть предотвращено расщепление многожильных её расщепление. Конструкция и материал вводных устройств должны исключать возможность случайного прикосновения к токоведущим частям, электрических перекрытий, а также замыкания проводников на корпус и накоротко. Внутри вводного устройства должно быть предусмотрено достаточно места для безопасного доступа к его элементам (контактам, проводникам, зажимам и т.п.) и для осуществления ввода и разделки проводов.

Сигнализация должна быть выполнена световой или звуковой. Световая сигнализация может быть осуществлена как с помощью непрерывно горящих, так

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

и мигающих огней. Для световых сигналов должны применяться следующие цвета:

красный – для запрещающих и аварийных сигналов, а так же для предупреждения о перегрузках, неправильных действиях, опасности о состоянии, требующем немедленного вмешательства (при пожаре и т.п.);

жёлтый – для привлечения внимания (предупреждения о достижении предельных значений, о переходе на автоматическую работу и т.п.);

зелёный – для сигнализации безопасности (нормального режима работы изделия, разрешение на начало действия и т.п.);

белый – для обозначения включенного состояния включателя, когда нерационально применение красного, жёлтого и зелёного цветов;

синий – для применения в специальных случаях, когда не могут быть применены красный, жёлтый, зелёный и белый цвета.

Сигнальные лампы и другие светосигнальные аппараты должны иметь знаки или надписи, указывающие значение сигналов (например, «Включено», «Отключено», «Нагрев»).

Штепсельные разъёмы должны иметь маркировку, позволяющую определить те части разъёмов, которые подлежат соединению между собой. Ответные части одного и того же разъёма должны иметь одинаковую маркировку. Маркировка должна наноситься на корпусах ответных частей разъёмов на видном месте. Допускается не наносить маркировку, если разъём данного типа в изделии единственный. Выводы изделия должны быть снабжены маркировкой или должны быть выполнены таким образом, чтобы была возможность нанесения маркировки. Навеска маркировочных бирок не допускается. Маркировка проводников должна выполняться на обоих концах каждого проводника. Допускается для коротких, отчётливо просматриваемых, проводников наносить маркировку только с одной стороны. Маркировка проводника должна быть выполнена так, чтобы при отсоединении проводника от зажима она сохранялась бы на замаркированном проводнике. При необходимости различать проводники

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

по функциональному назначению цепей, в которых они использованы, следует применять следующие расцветки изоляции:

- 1) чёрную – для проводников в силовых цепях;
- 2) красную – для проводников в цепях управления, измерения и сигнализации переменного тока;
- 3) синюю - для проводников в цепях управления, измерения и сигнализации постоянного тока;
- 4) зелёно-жёлтую (двухцветную) – для проводников в цепях заземления;
- 5) голубую – для проводников, соединённых с нулевым проводом и не предназначенных для заземления.

4.2 Требования безопасности при работе с высокими напряжениями

В электроустановках напряжением выше 1000 В работники из числа оперативного персонала, единолично обслуживающие электроустановки, и старшие по смене должны иметь группу по электробезопасности не ниже IV, остальные работники в смене - группу не ниже III.

В электроустановках напряжением до 1000 В работники из числа оперативного персонала, единолично обслуживающие электроустановки, должны иметь группу по электробезопасности не ниже III.

При осмотрах электроустановок, перемещении техники и грузов не допускается приближение людей, гидравлических подъемников, телескопических вышек, экскаваторов, тракторов, автопогрузчиков, бурильно-крановых машин, выдвижных лестниц с механическим приводом (далее - механизмы) и технических устройств цикличного действия для подъема и перемещения груза, гидравлических подъемников, телескопических вышек (далее - подъемные сооружения), а также токопроводящей части стрелы при использовании подъемника (вышки) с изолирующим звеном к находящимся под напряжением неогражденным или неизолированным токоведущим частям на расстояния менее указанных в таблице 4.2.

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 4.2 – Допустимые расстояния до токоведущих частей электроустановок, находящихся под напряжением

Напряжение электроустановок, кВ	Расстояние от работников и применяемых ими инструментов и приспособлений, от временных ограждений, м	Расстояния от механизмов и подъемных сооружений в рабочем и транспортном положении от стропов, грузозахватных приспособлений и грузов, м
ВЛ до 1	0,6	1,0
Остальные электроустановки:		
до 1	не нормируется (без прикосновения)	1,0
1 - 35	0,6	1,0
60 (постоянный ток) - 110	1,0	1,5
150	1,5	2,0
220	2,0	2,5
330	2,5	3,5
400 (постоянный ток) - 500	3,5	4,5
750	5,0	6,0
1150	8,0	10,0

Единоличный осмотр электроустановки, электротехнической части технологического оборудования имеет право выполнять работник из числа оперативного персонала, имеющий группу по электробезопасности не ниже III, осуществляющий оперативное обслуживание данной электроустановки, находящийся на дежурстве, либо работник из числа административно-технического персонала, имеющий [11]:

– группу V по электробезопасности - при эксплуатации электроустановки напряжением выше 1000 В;

– группу IV по электробезопасности - при эксплуатации электроустановки напряжением до 1000 В. Право единоличного осмотра предоставляется на основании ОРД организации (обособленного подразделения).

За начало и конец ВЛ принимаются линейные порталы или линейные вводы электроустановки, служащей для приема и распределения электроэнергии и содержащей коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные), а также вторичные системы и устройства связи (далее - распределительные устройства,

РУ), а для ответвлений - ответвительная опора и линейный портал или линейный ввод распределительного устройства.

Работники, не обслуживающие электроустановки, могут допускаться для осмотра в электроустановки в сопровождении оперативного персонала, обслуживающего данную электроустановку, имеющего группу IV по электробезопасности - в электроустановках напряжением выше 1000 В, и имеющего группу III по электробезопасности - в электроустановках напряжением до 1000 В, либо работника, имеющего право единоличного осмотра.

Сопровождающий работник должен осуществлять контроль за безопасностью работников, допущенных в электроустановки, и предупреждать их о запрещении приближаться к токоведущим частям.

При осмотре электроустановок разрешается открывать двери щитов, сборок, пультов управления и других устройств.

Не допускается выполнение какой-либо работы во время осмотра.

При замыкании на землю в электроустановках напряжением 3 - 35 кВ приближаться к месту замыкания на расстояние менее 4 м в закрытом распределительном устройстве и менее 8 м в открытом распределительном устройстве (ОРУ) и на ВЛ допускается только для оперативных переключений с целью ликвидации замыкания и освобождения людей, попавших под напряжение. При этом следует пользоваться электрозащитными средствами.

При несчастных случаях для освобождения пострадавшего от действия электрического тока напряжение должно быть снято немедленно без предварительного разрешения оперативного персонала.

Отключать и включать электрические аппараты, предназначенные для коммутации электрической цепи и снятия напряжения с части электроустановки (выключатель, выключатель нагрузки, отделитель, разъединитель, автомат, рубильник, пакетный выключатель, предохранитель) (далее - коммутационные аппараты) и заземлители (заземляющие разъединители, заземляющие ножи) напряжением выше 1000 В с ручным приводом необходимо в диэлектрических

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

перчатках и применением средств защиты лица от воздействия электрической дуги.

Снимать и устанавливать предохранители следует при снятом напряжении.

Допускается снимать и устанавливать предохранители, находящиеся под напряжением, но без нагрузки.

Под напряжением и под нагрузкой допускается снимать и устанавливать:

- предохранители во вторичных системах, включая работы в приводах и агрегатных шкафах коммутационных аппаратов и устройствах связи;
- предохранители трансформаторов напряжения;
- предохранители пробочного типа.

При снятии и установке предохранителей под напряжением необходимо пользоваться:

- в электроустановках напряжением выше 1000 В - изолирующими клещами (штангой) с применением диэлектрических перчаток и средств защиты лица, глаз от механических воздействий и термических рисков электрической дуги;
- в электроустановках напряжением до 1000 В - изолирующими клещами, диэлектрическими перчатками и средствами защиты лица, глаз от механических воздействий и термических рисков электрической дуги.

Двери помещений (калитки, ворота) ОРУ, общеподстанционного пункта управления, помещений РУ, электроустановок, камер, щитов и сборок, шкафов комплектных трансформаторных подстанций кроме тех, в которых проводятся работы, должны быть закрыты на замок.

Порядок хранения, учета, выдачи и возврата ключей (в том числе электронных ключей) от электроустановок (далее - ключи), а также количество комплектов ключей определяется распоряжением руководителя организации (обособленного подразделения). Ключи от электроустановок должны находиться на учете у оперативного персонала. В электроустановках, не имеющих местного оперативного персонала, ключи могут быть на учете у административно-

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

технического персонала.

Ключи от электроустановок должны быть пронумерованы и храниться в запираемом ящике. Один комплект должен быть запасным.

Выдача и возврат ключей должны фиксироваться в журнале произвольной формы, предусматривающей дату, время выдачи и возврата ключей, номер или наименование ключа, наименование помещения, подпись работника, выдавшего ключ, а также подпись работника, получившего ключ.

Ключи от электроустановок должны выдаваться:

- работникам, имеющим право единоличного осмотра, в том числе оперативному персоналу - от помещений, вводных устройств, щитов и щитков, в которых предстоит выполнить осмотр;

- допускающему из числа оперативного персонала, ответственному руководителю работ и производителю работ, наблюдающему при допуске к работам по наряду-допуску, распоряжению - от помещений, вводных устройств, щитов, щитков, в которых предстоит выполнять допуск или работать;

- оперативному или оперативно-ремонтному персоналу при работах, выполняемых в порядке текущей эксплуатации - от помещений, вводных устройств, щитов, щитков, в которых предстоит работать.

Ключи от электроустановок, оперативное обслуживание которых осуществляется круглосуточно оперативным персоналом, должны передаваться по смене с оформлением в оперативном журнале.

4.3 Противопожарная безопасность

Электроустановки напряжением до и выше 1 кВ классифицируются по категориям В1-В4 (пожаро- и взрывоопасные объекты). Для их тушения разрешены только углекислотные огнетушители, так как:

- Порошковые огнетушители повреждают оборудование без возможности восстановления.

- Пенные составы оседают на контактах реле, делая ремонт невозможным.

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– Вода и сыпучие материалы (песок, земля) запрещены – вода проводит ток, а засыпка неэффективна.

Каждая электроустановка должна быть оснащена огнетушителем. При проведении электрогазосварочных работ требуется два огнетушителя на расстоянии не более 30 м от рабочей зоны.

Согласно СП 256.1325800.2016, резервное освещение обязательно:

На объектах, где отключение электроэнергии угрожает жизни людей (больницы, МЧС, полиция, склады ЛВЖ).

В помещениях с непрерывным производственным циклом (конвейеры, предприятия общепита).

Требования к эвакуационному освещению:

Устанавливается вдоль всего маршрута эвакуации, включая лестницы (особенно верхнюю и нижнюю ступени).

Обязательно перед дверями, пожарными щитами, аптечками и схемами эвакуации.

Наружные выходы должны иметь подсветку.

Изоляция должна быть целой, запрещено закрывать провода обоями.

Неисправные розетки и рубильники демонтируются, провода изолируются на высоте от 2 м.

В производственных зонах применяются кабели с огнестойкой изоляцией (несгораемые/трудносгораемые материалы).

Соединения выполняются сваркой, пайкой, опрессовкой или сертифицированными зажимами.

Ограничения на электронагревательные приборы заключаются в том, что запрещены:

- 1) Приборы без термозащиты или с неисправными терморегуляторами.
- 2) Использование удлинителей на улице, если это запрещено инструкцией.
- 3) Электрочайники, утюги, тостеры в рабочих зонах (кроме специально оборудованных помещений).

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Соблюдение этих правил минимизирует риски возгораний и поражения током. Работодатель обязан обеспечить выполнение всех требований ПУЭ и СП, включая регулярные проверки оборудования.

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе были исследованы возможности применения электрогидравлического эффекта для получения наноразмерных порошков.

Выполнена оценка перспектив применения электрогидравлического эффекта для измельчения различных материалов.

Была предложена структура установки для реализации кавитационного измельчителя порошкообразных материалов до наноразмеров, в рамках чего выполнен патентный поиск в области разработки измельчителей на основе электрогидравлического эффекта.

На основании патентного поиска предложена конструкция измельчителя.

Разработана электрическая часть устройства, где осуществлен выбор основных схемотехнических решений для формирования заряда большой мощности и разработана схема электрическая функциональная для управления процессом измельчения.

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1) Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л.: Машиностроение, 1986.

2) Описание изобретения к патенту № RU 2329867 C2, «Измельчитель конусно-кавитационный», B02C 2/10, опубликовано 27.07.2008, Бюл. № 21, начало действия патента 23.01.2006, авторы: Свиридов Д.П., Кущин А.А. и др.

3) Описание изобретения к патенту № RU 2 286 205 C2, «Кавитационный реактор», B01F 11/02, B01J 19/10, опубликовано 27.10.2007 Бюл. №30, приоритет 16.02.2005, автор Шестаков С.Д., патентообладатель Никольский К.Н. (RU).

4) Описание изобретения к патенту № RU 2326296 C2, «Способ повышения энергоэффективности гидродинамического теплогенератора», F24J 3/00, опубликовано 10.06.2008 Бюл. №16, автор Бритвин Л.Н., приоритет от 22.02.2006, патентообладатель ООО «НПФ ТГМ» (RU).

5) Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 2-х томах = *The Art of Electronics: Second Edition* (© Cambridge University Press, 1980) / Пер. с англ. под ред. М. В. Гальперина, редакторы: Н. В. Серёгина, Ю. Л. Евдокимова. — М.: Мир, 1983. — т. 1: 568 с., т. 2: 590 с

6) <https://radioskot.ru/publ/teoria/umnozhitel-napryazheniya>

7) Титце, Ульрих. Полупроводниковая схемотехника. Т. I / У. Титце, К. Шенк ; пер. с нем. Г. С. Карабашева. – 13-е изд., эл. – 1 файл pdf : 829 с. – Москва: ДМК Пресс, 2023. – Систем. требования: Adobe Reader XI либо Adobe Digital Editions 4.5 ; экран 10". – Текст: электронный.

8) <https://www.trudohrana.ru/article/103897-19-m6-trebovaniya-pojarnoy-bezopasnosti-k-elektrostanovkam?ysclid=mbi2pz1cmu838906994#acor2>

9) Архитектура микроконтроллеров MCS-51 // Официальный сайт Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. http://www.sibsutis.ru/~mavr/MCS51/MCS_51.htm, доступ –свободный, дата обращения 27.04.2019

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

10) Долин П.А. Справочник по технике безопасности. — М.: Энергоатомиздат, 1985.

11) Безопасность жизнедеятельности. Под ред. Белова С. В. — М.: Высшая школа, 2001.

12) ГОСТ 2.001-70 “ЕСКД. Общие положения”.

13) ГОСТ 2.103-68 “ЕСКД. Стадии разработки”.

14) ГОСТ 2.104-68 “ЕСКД. Основные надписи”.

15) ГОСТ 2.105-68 “ЕСКД. Общие требования к текстовым документам”.

16) ГОСТ 2.106-68 “ЕСКД. Текстовые документы».

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Приложение А
Техническое задание

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

«Утверждаю»
 /зав. кафедрой ИиМЭ
 Пронин И.А.
 (фамилия, инициалы)
 «05» июня 2025 г.

З А Д А Н И Е на бакалаврскую работу

1. Студент(ка) гр. 211Д1 факультета информационных технологий и электроники

Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и наноэлектроника»

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Абдиллаев Медербек Садывакасович

(фамилия, имя, отчество)

2. Руководитель Доросинский Антон Юрьевич

(фамилия, имя, отчество)

3. Тема бакалаврской работы Применение электрогидравлического эффекта для получения наноразмерных частиц

Тема утверждена приказом ПГУ № 622/с от «25» 04 2025 г.

4. Техническое задание на бакалаврскую работу (вид работы: разработка, проектирование, исследование, и т.д.; назначение; основные параметры; условия функционирования и т.д.)

Разработка кавитационного измельчителя смеси порошкообразных материалов до наноразмеров в виде полностью прозрачных водных и водно-спиртовых коллоидов

Диапазон получаемых частиц, нм	не более 100
Максимальная мощность, Вт	$2 \cdot 10^3$
КПД преобразования, %	от 40 до 60
Диапазон рабочих температур окружающей среды, °C	от 10 до 35
Габаритные размеры установки, мм, не более	400×300×250
Напряжение питания (переменный ток 50 Гц), В	230
Объем рабочей камеры, л	1

5. Объем и содержание основной части бакалаврской работы

5.1. Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, обоснований, описаний, расчетов и т.д.)

1 Исследование возможности применения электрогидравлического эффекта для получения наноразмерных порошков

1.1 Понятие и природа возникновения электрогидравлического эффекта

1.2 Области применения электрогидравлического эффекта

1.3 Перспективы применения электрогидравлического эффекта для измельчения различных материалов

2 Проектирование установки для реализации кавитационного измельчителя порошкообразных материалов до наноразмеров

2.1 Патентный поиск в области разработки измельчителей на основе электрогидравлического эффекта

2.2	Разработка конструкции измельчителя	
2.3	Расчет основных технических параметров устройства	
3	Разработка электрической части устройства	
3.1	Выбор основных схмотехнических решений для формирования заряда большой мощности	
3.2	Разработка схемы электрической функциональной для управления процессом измельчения	
3.3	Разработка схемы электрической принципиальной для управления процессом измельчения	
4	Требования по безопасности при эксплуатации электрических приборов и устройств	
4.1	Требования безопасности к электротехническому изделию и его частям	
4.2	Требования безопасности при работе с высокими напряжениями	
4.3	Противопожарная безопасность	
5.2.	Иллюстративная часть (перечень и содержание чертежей и слайдов презентации)	
	Понятие электрогидравлического эффекта	слайд 1
	Области применения электрогидравлического эффекта	слайд 2
	Структурная схема кавитационного измельчителя	слайд 3
	Расчет основных технических параметров устройства	слайд 4
	Варианты построения устройств накопления заряда большой мощности	слайд 5
	Схема электрическая функциональная блока управления электрогидравлическим процессом измельчения материалом	слайд 6
	Схема электрическая принципиальная блока управления электрогидравлическим процессом измельчения материалом	слайд 7

6. Консультанты и содержание дополнительных разделов

7. Календарный график по выполнению бакалаврской работы

Наименование этапов работы	Объем работы	Срок выполнения	Подпись руководителя, консультанта
Исследование возможности применения электрогидравлического эффекта для получения наноразмерных порошков	20%	.2025	
Проектирование установки для реализации кавитационного измельчителя порошкообразных материалов до наноразмеров	20%	.2025	
Разработка электрической части устройства	20%	.2025	
Требования по безопасности при эксплуатации электрических приборов и устройств	10%	06.2025	
Графическая часть	10%	06.2025	
Оформление пояснительной записки	20%	06.2025	

Руководитель бакалаврской работы

подпись

Доросинский А.Ю.

фамилия, инициалы

Дата выдачи задания

«05»

июня

2025 г.

Задание к исполнению принял

подпись

Абдиллаев М.С.

фамилия, инициалы

«05»

июня

2025 г.

Бакалаврскую работу к защите допустить

Декан факультета

подпись

Кривчик В.Д.

фамилия, инициалы

«11»

июня

2025 г.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ

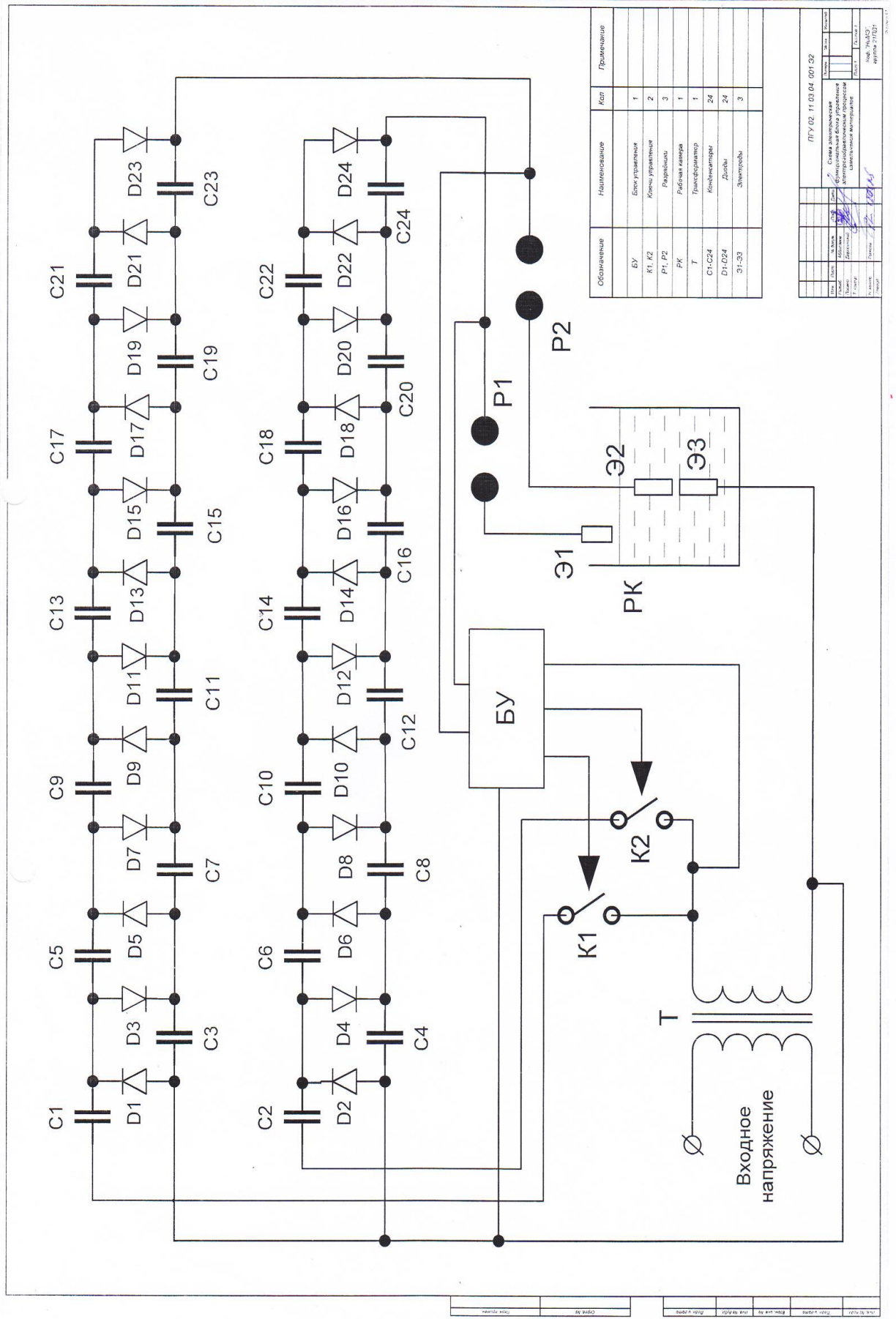
Лист

72

Приложение Б

Схема электрическая функциональная блока управления

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Приложение В

Схема электрическая принципиальная блока управления

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Приложение Г
Перечень элементов

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

[illegible]

ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ

Приложение Д

Заявление и протокол проверки бакалаврской работы на оригинальность

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Ректору Пензенского государственного
университета Гулякову А.Д.
студента 4 курса ФИТЭ очной формы
обучения
Абдиллаев Медербек Садывакасович

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Абдиллаев Медербек Садывакасович, студент 4 курса очной формы обучения направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника», прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат.ВУЗ» бакалаврской выпускной классификационной работы и на тему «Применение электрогидравлического эффекта для получения наноразмерных частиц», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите и отчисления из университета.


Подпись студента

ВКР представлена на проверку 18.05.2025

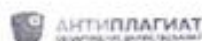
Руководитель ВКР Доросинский А.Ю.



Протокол

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						80
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» бакалаврской выпускной классификационной работы на тему «Применение электрогидравлического эффекта для получения наноразмерных частиц» студента 4 курса Абдилаев Медербек Садывакасович направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»
Руководитель ВКР Доросинский А.Ю.



СПРАВКА

в результате проверки предоставленного документа на наличие заимствований

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Генеральный государственный университет»

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ ANTIPLAGIAT.VUZ

Автор работы: Абдилаев Медербек Садывакасович
Специализация: Абдилаев Медербек Садывакасович
наименование для: Применение электрогидравлического эффекта для получения наноразмерных частиц
Наименование работы: Выпускная квалификационная работа
Тип работы: Квалификационная работа
Подразделение: Кабинет "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

- выданы дисперсионные показатели по попыткам массового заимствования. Показатели
- вывод о проверке достоверности: вывод представлен, результаты проверки до корректировки

Оригинальность	31.4%	Оригинальность	38.41%
Сопоставление	44.84%	Сопоставление	40.47%
Цитирование	25.92%	Цитирование	10.57%
Самодублирование	0%	Самодублирование	0%

Дата проверки: 10.06.2025

Дата и время копирования: 10.06.2025 10:09

Структура документа: Проверены разделы: основная часть с 7-62, титульный лист с 1, введение с 2-7, заключение с 67
Модель поиска: Публикации в ВАК, Коллекция ВУЗ, Цитирование, Перечисленные заимствования, Шаблоны фразы, Коллекция ИБ, Диссертации ИБ, Перифразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте, IEEE, Перифразированные по коллекции IEEE, СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация, Патенты СССР, РФ, СНГ, СММ России и СНГ, Сводная коллекция ЭС, Перифразированные по коллекции Гарант: аналитика, Медицина, СПС ГАРАНТ: аналитика, Перифразированные по коллекции Интернет в русском сегменте, Публикации РГБ (переводы и перифразирование), Перифразированные IEEE, Публикации ИТБ, Публикации eLIBRARY (переводы и перифразирование), Коллекция вузов (переводы и перифразирование), Перифразированные заимствования по коллекции Интернет в русском...

Работу проверил: Гусакоскин Алексей Николаевич
Фирма проверки:

Дата подписи:



Печать «Генеральный государственный университет» и «Генеральный государственный университет» и «Генеральный государственный университет»

Печать «Генеральный государственный университет» и «Генеральный государственный университет» и «Генеральный государственный университет»

Руководитель ВКР

«18» 06 2025 год

подпись

Доросинский А.Ю.
фамилия, инициалы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ

Лист

81



АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Пензенский государственный
университет"

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Абдиллаев Медербек Садывакасович
Самоцитирование
рассчитано для: Абдиллаев Медербек Садывакасович
Название работы: Применение электрогидравлического эффекта для получения наноразмерных частиц
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

- ВНИМАНИЕ, ДОКУМЕНТ ПОДОЗРИТЕЛЬНЫЙ: ОБНАРУЖЕНЫ ПОПЫТКИ МАСКИРОВКИ ЗАИМСТВОВАНИЙ. РЕКОМЕНДУЕТСЯ ПРОВЕРИТЬ ПОЛНЫЙ ОТЧЕТ
- ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	34.6%	СОВПАДЕНИЯ	28.41%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	44.48%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	50.67%
ЦИТИРОВАНИЯ	20.92%	ЦИТИРОВАНИЯ	20.92%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 18.06.2025

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 18.06.2025 10:38

Структура
документа:
Модули поиска:

Проверенные разделы: основная часть с.7-62, титульный лист с.1, введение с.2-7, выводы с.63

Публикации eLIBRARY; Кольцо вузов; Цитирование; Переводные заимствования; Шаблонные фразы; Коллекция НБУ; Диссертации НББ; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; IEEE; Перефразирования по коллекции IEEE; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; Патенты СССР, РФ, СНГ; СМИ России и СНГ; Сводная коллекция ЭБС; Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Медицина; СПС ГАРАНТ: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Публикации РГБ (переводы и перефразирования); Переводные заимствования IEEE; Публикации РГБ; Публикации eLIBRARY (переводы и перефразирования); Кольцо вузов (переводы и перефразирования); Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском...

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи:

18.06.25 г.

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОТЗЫВ
РУКОВОДИТЕЛЯ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Бакалаврская работа на тему Применение электрогидравлического
эффекта для получения наноразмерных частиц
Выполнена студентом Абдиллаевым Медербекем Садывакасовичом
Факультет приборостроения, информационных технологий и электроники
Кафедра Нано- и микроэлектроники Группа 21ПД1
Направление подготовки, профиль 11.03.04. «Электроника и
наноэлектроника», «Нанотехнология и технология микроэлектронных
устройств»
Квалификация (степень) Бакалавр
Руководитель Доросинский А.Ю.
к.т.н., доцент каф. НиМЭ, ген. директор ООО НПП «Сонар»

Качества выпускника, выявленные в ходе выполнения бакалаврской работы
В ходе выполнения ВКР Абдиллаев М.С. проявил навыки
самостоятельного решения поставленных инженерных задач.
Продemonстрировал достаточный уровень практической и теоретической
подготовки по профилю обучения.

Заключение

Выполненная выпускником ВКР соответствует техническому заданию.
Степень соответствия подготовленности выпускника соответствует
требованиям программы обучения.

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						83
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Считаю, что ВКР заслуживает оценки «хорошо», а ее автор Абдиллаев М.С. заслуживает присвоения квалификации «бакалавр» по направлению подготовки 11.03.04 «Нанотехнология и технология микроэлектронных устройств».

« 16 » июня 2025 г.

Руководитель


(подпись)

Доросинский А.Ю.

(инициалы, фамилия)

					ПГУ 02.11.03.04. 001 ПЗ	Лист
						84
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		