

**В. Б. ЮФЕРОВ**, д-р. техн. наук, нач. отд ННЦ ХФТИ, Харьков;  
**А. Н. ОЗЕРОВ**, мнс, ННЦ «ХФТИ», Харьков;  
**Д. В. ВИННИКОВ**, мнс, ННЦ «ХФТИ», Харьков;  
**И. В. БУРАВИЛОВ**, мнс, ННЦ «ХФТИ», Харьков;  
**А. Н. ПОНОМАРЕВ**, мнс, ННЦ «ХФТИ», Харьков

### ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ЭЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СРЕДЕ ЖИДКОГО АЗОТА

Исследована возможность измельчения эластичных материалов импульсными высоковольтными электрическими разрядами в среде жидкого азота. В качестве материала для измельчения использовалась резина изношенных автомобильных покрышек. Определено влияние некоторых параметров электрогидроимпульсной системы на получение порошка резины размером менее 2 мм. Оценены основные энергетические затраты на измельчение эластичных материалов данным способом.

**Ключевые слова:** Электрический разряд, высоковольтный разряд, эластичный материал, резина, жидкий азот, измельчение.

**Введение.** Проблема утилизации и переработки изношенных шин имеет существенное экономическое значение, поскольку потребности в природных ресурсах непрерывно растут, а их стоимость постоянно повышается. В связи с тем, что на 80% составляющей шин является нефть, их промышленная утилизация даст возможность сохранить нефтяные невозполнимые природные ресурсы, стимулировать развитие ресурсосберегающих технологий.

Кроме того, вышедшие из эксплуатации изношенные шины не подвергаются биологическому разложению, поэтому они являются источником длительного загрязнения окружающей среды. В результате химического, термического и радиационного разрушения резины в атмосферу и грунтовые воды могут попадать различные токсичные и канцерогенные продукты, которые оказывают крайне негативное воздействие на организм человека. Происходит загрязнение не только атмосферы, но и водных бассейнов, почв. Вместе с тем, изношенные автомобильные шины содержат в себе ценное сырье: каучук, металл, текстильный корд.

Полученная в ходе переработки резиновая крошка – незаменимый материал при производстве дорожных отбойников, напольных покрытий для промышленных зданий, сельскохозяйственных построек, спортивных и игровых комплексов. Добавленная в асфальт крошка повышает его износостойкость в несколько раз.

© В. Б. Юферов, А. Н. Озеров, Д. В. Винников, И. В. Буравиллов, А. Н. Пономарев, 2013

Поэтому необходимы энергосберегающие и экологически безопасные технологии [1, 2] по переработки резинотехнических изделий в крошку.

В настоящее время находит применение электрогидроимпульсная технология измельчения материалов. При пробое жидкости, по схеме, показанной на рис. 1, вокруг канала разряда возникает зона высокого давления, диаметр которой пропорционален мощности импульса. Жидкость, получив ускорение от расширяющегося с большой скоростью канала разряда, перемещается от него во все стороны, образуя на том месте, где был разряд, значительную по объему полость, названную кавитационной, и вызывая первый гидравлический удар. Затем полость также с большой скоростью смыкается, создавая второй кавитационный гидравлический удар [3].

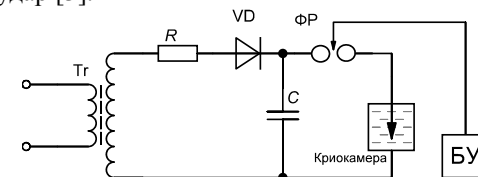


Рис. 1 – Электрическая схема для реализации электрогидроимпульсного удара: ФП – формирующий искровой промежуток, РП – рабочий искровой промежуток в жидкости

Дробление резины электрогидроимпульсным способом в обычной воде не происходит [1] в виду ее пластичности. Поэтому для придания хрупкости резине, в качестве жидкости в данной технологии использовался жидкий азот.

**Результаты исследований.** Дробление эластичных материалов при низкой температуре происходило в разрядной теплоизолированной камере объемом 2,1 литра, изображенной на рис. 2. На оси камеры расположен электрод 1, вторым электродом является дно камеры. В случае понижения давления над поверхностью жидкости к патрубку 5 присоединялся водокольцевой вакуумный насос. В камеру помещалась резина размером 10-25 мм. Свободное пространство камеры заполнялось на 2/3 жидким азотом. После чего производился разряд конденсатора на рабочий промежуток в жидкости.

Осциллограмма тока проходящего через рабочий зазор представлена на рис. 3. Ток имеет затухающий колебательный характер с амплитудой 16 кА, периодом 15 мкс. Параметры электрической цепи следующие: пробивное напряжение 24 кВ, запасаемая энергия конденсаторной батареи 576 Дж, индуктивность разрядной цепи 2,9 мкГн, сопротивление разрядной цепи 0,1-0,2 Ом.

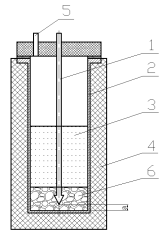


Рис. 2 – Конструкция разрядной камеры для электрогидроимпульсного измельчения в жидком азоте: 1 - электрод, 2 - камера, 3 - жидкий азот, 4 - теплоизоляция, 5 - выходной патрубок, 6 - резина.

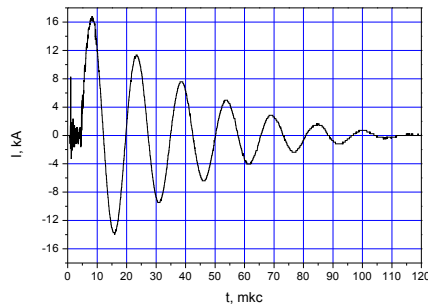


Рис. 3 – Оциллограмма импульса тока через разрядный промежуток в жидком азоте

На рис. 4 представлено фото резиновой крошки после электрогидроимпульсного дробления в жидком азоте. Размеры резиновой крошки находились в пределах от единиц микрон, до 2 мм.

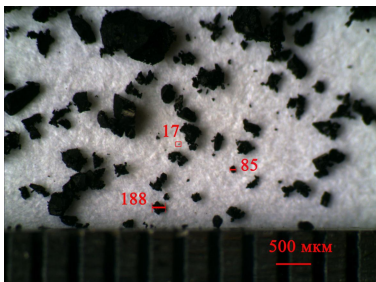


Рис.4 – Фотография с USB микроскопа резиновой крошки после обработки

На рис. 5 представлена зависимость выхода продукта от количества импульсов при различном межэлектродном расстоянии от 5 до 23 мм.

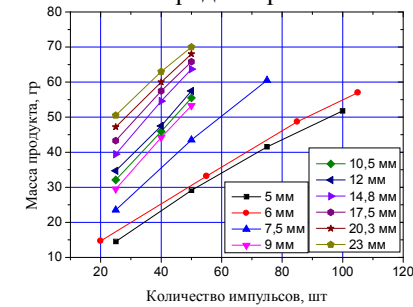


Рис. 5 – Зависимость выхода продукта от количества импульсов, при различном межэлектродном расстоянии

Количество обрабатываемой резины 100 гр. Из результатов видно, что увеличение межэлектродного расстояния с 5 до 23 мм, приводит к росту выхода измельченной до 2 мм резиновой крошки в 3.5 раза. Максимальный выход измельченного материала наблюдался при межэлектродном расстоянии 23 мм и составил 51,2 г, после 25 импульсов.

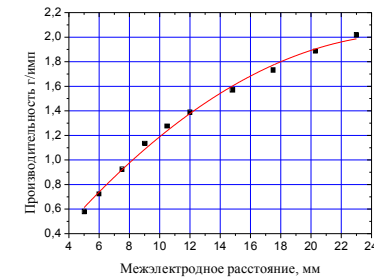


Рис.6 – Зависимость производительности резиновой крошки от межэлектродного расстояния

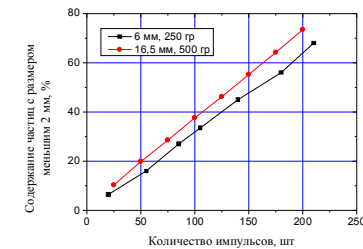


Рис. 7 – Зависимость содержания частиц с размером меньше 2 мм в процентах от количества импульсов

На рис. 6 представлена зависимость производительности резиновой крошки от межэлектродного расстояния. На межэлектродном расстоянии от 5 до 23 мм наблюдается положительная производная роста производительности. Максимальная производительность получена на межэлектродном расстоянии 23 мм, и составила 2,05 г/имп.

На рис. 7 показан график зависимости содержания частиц с размером меньше 2 мм в процентах от количества импульсов. Межэлектродное расстояние в данном случае составило 6 и 16,5 мм, при загрузке резины 250 и 500 г соответственно. В обоих случаях наблюдался линейный характер роста содержания частиц с размером меньше 2 мм. При обработке 210 импульсами измельчается порядка 70% крошки до необходимого размера.

На рис. 8 представлена диаграмма распределения резиновой крошки по фракциям после 25, 50, 75 и 100 импульсов. Обработывалось 500 гр резины, при межэлектродном расстоянии 16.5 мм. Из диаграммы видно, что после каждой серии импульсов наблюдается постепенное увеличение количества материала более мелких фракций. После 100 импульсов количество резиновой крошки с размером менее 2 мм составляет 35%.

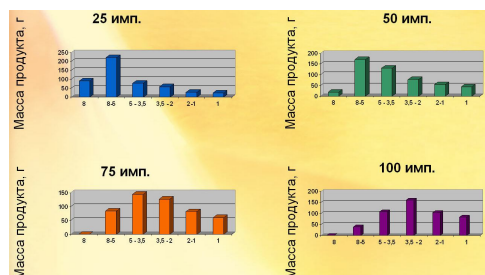


Рис. 8 – Диаграмма распределения резиновой крошки по фракциям после 25, 50, 75 и 100 импульсов

В результате проведенных исследований электрогидроимпульсного измельчения эластичных материалов в среде жидкого азота спроектирована технологическая линия и определены ее основные технико-экономические показатели, которые представлены в таблице 1.

Таблица – Технико-экономические показатели

Производительность, кг/час	50
Удельная производительность, г/имп	2,1
Размер резиновой крошки, мм	0,2-2
Расход жидкого азота, л/кг	2,8
Энергозатраты электрогидроимпульс, кВт·час	6
Частота следования электрических разрядов, Гц	7

Из литературных данных известно, что на производство 1 кг жидкого азота требуется затратить 0,44 кВт·час[4].

**Выводы.** Разработана технологическая схема измельчения эластичных материалов электрогидроимпульсным воздействием в среде жидкого азота. Определено влияние некоторых параметров электрогидроимпульсной системы на получение порошка резины размером менее 2 мм. Максимальная производительность получена на межэлектродном промежутке 23 мм и составила 2,1 г/имп. Оценены основные энергетические затраты на измельчение эластичных материалов данным способом.

**Список литературы:** 1. Курец В. И. Электроимпульсное разрушение охлажденных полимеров (высших α-олефинов) / В.И. Курец, Г.В. Несын, Г.П. Филатов, А.Ю. Юшков, К.Б. Коновалов // Известия Томского политехнического университета. – 2009.–Т.314, №4. – С.103–106. 2. Виноградов Б. В. Об измельчении твердых остатков пиролиза изношенных автомобильных шин электрогидроимпульсным способом / Б.В. Виноградов, Д.А. Федин, В.И. Емельяненко, И.А. Осташко // Вопросы химии и химической технологии. – 2008. – №6. – С. 163–166. 3. Юткин Л.А., Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л. А. Юткин. – Л.: Машиностроение, 1986. – 252 с. 4. Кудрявцев И. Н. Эффективность использования пневмодвигателя в автомобиле // И.Н. Кудрявцев, А.И. Пятак, С.И. Бондаренко, А.Я. Левин, Б.Н. Мурынец-Маркевич, М.Ч. Пламмер // Альтернативная энергетика и экология. – 2005. – №2(22), С. 82–88.

Надійшла до редколегії 05.11.2012

УДК 621.746.044.4.001.57

**Электроимпульсное измельчение эластичных материалов в среде жидкого азота / В. Б. Юферов, А. Н. Озеров, Д. В. Винников // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. - №.17 (990). – С.188-194. Бібліогр.:4. Іл.:8. Табл.:1.**

Досліджена можливість подрібнення еластичних матеріалів імпульсними високовольними електричними розрядами в середовищі рідкого азоту. Як матеріал для подрібнення використовувалася гума зношених автомобільних покришок. Визначений вплив деяких параметрів електрогідроімпульсної системи на здобуття порошку гуми розміром менше 2 мм. Оцінені основні енергетичні витрати на подрібнення еластичних матеріалів даним способом.

**Ключові слова:** електричний розряд, високовольний розряд, еластичний матеріал, гума, рідкий азот, подрібнення.

Elastic materials crushing possibility by pulsed high-voltage electrical discharges in the liquid nitrogen medium has been investigated. Life-expired automobile tires rubber have been used as a material for crushing. Electrohydropulsed system parameters that are affected on rubber powder of less than 2 mm size obtainment have been determined. The basic energy expenses for crushing of elastic materials by proposed method have been estimated.

**Keywords:** electrical discharge, high-voltage discharge, elastic material, rubber, liquid nitrogen, attrition