

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДРОБЛЕНИЯ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Ерохин М.С.¹, Жданов К.В.²

¹Ерохин Михаил Сергеевич – студент;

²Жданов Константин Владимирович – студент,
инженерный спецфакультет,

Бийский технологический институт (филиал)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Бийск

Аннотация: в данной работе рассматривается явление электрогидравлического эффекта, с помощью которого происходит дробление хрупких материалов, имеющих в свободной продаже. В исследовании приведены данные энергозатрат на разработанной установке на получение фракций стекла, а также пригодность данной установки для исследований и ее применения.

Ключевые слова: электрогидравлический эффект, лабораторные установки, трансформатор, конденсатор.

Сущность явления электрогидравлического эффекта состоит в том, что в зоне сформированного импульсного высоковольтного разряда в жидкой среде возникают температура и высокое гидравлическое давление, которые сопровождаются импульсными кавитационными процессами, ударными волнами, мощными электромагнитными полями, приводящими в итоге к разрушению частиц в жидкой среде [2, 3].

Данное явление позволяет строить различные установки для разрушения материалов, штамповки металлов, очистки отливок, получения удобрений из почвы, перемешивания жидкостей, получения коллоидных растворов, ускорения химических реакций, транспортирования веществ и многое другое. В электрогидравлических установках сетевое напряжение в зависимости от режима обработки повышается от 10 до 70 кВ и более и через выпрямитель подается на конденсатор. При достижении на конденсаторе напряжения пробоя формирующего воздушного промежутка происходит электрический разряд в жидкости. При этом условием для получения разрядов, способных дать взрывной эффект, является большая площадь отрицательного электрода и как можно меньшая положительного (техника «длинного разряда»). В результате возникает проблема надежности положительного электрода, так как образующиеся давления в зоне контакта электрода с жидкостью разрушают любую современную изоляцию.

Целью научно-исследовательской работы являлось создание опытной маломощной лабораторной установки на основе электрогидравлического эффекта из доступных в продаже материалов и компонентов со следующими характеристиками: регулируемое напряжение источника питания в диапазоне 10–20 кВ, мощность – не менее 1 Вт, регулируемый воздушный разрядник, возможность измерения напряжения на рабочем конденсаторе, электрическая безопасность; механическая часть – выполненная по технике «длинного разряда», возможность регулировки искрового промежутка.

В качестве высоковольтного трансформатора испытаны катушка зажигания от автомобилей и ТДКС от элементов развертки ламповых телевизоров. Для реализации электрической части установки применен ЛАТР и понижающий трансформатор для регулировки входного напряжения в диапазоне 4–12 В. На таймере NE555 построена схема генерации прямоугольных импульсов с различными частотами в интервале 170–27000 Гц и скважностью 52%. Диодный мост на выходе катушки зажигания построен из последовательно соединенных диодных столбов КЦ121Д ($U_{обр\ max} = 12\text{ кВ}$, $I_{пр\ max} = 0,01\text{ А}$).

В качестве рабочего конденсатора изначально была применена линейка из 48 пленочных конденсаторов 630 В * 1,5 мкФ, соединенных последовательно-параллельно. Общий номинал был 15 кВ * 0,125 мкФ. Однако крайние конденсаторы разрушились после ~300 импульсов. Поэтому в дальнейшем использовались конденсаторы К75-29 номиналов 16 кВ * 1 мкФ и 40 кВ * 0,25 мкФ.

Электрическая безопасность установки обеспечивается подключением параллельно рабочему конденсатору резистора и использованием для соединения между элементами провода ПКВМ-20-0,75 ($U_{max} = 20\text{ кВ}$, сечение 0,75 мм²).

Резистор изготовлен из 40 параллельно соединенных резисторов номиналом 10 МОм и максимальным напряжением 750 В. Таким образом, резистор также является делителем и обеспечивает возможность измерения напряжения на рабочем конденсаторе. Максимальное напряжение на резисторе равно 30 кВ, потребляемая мощность при 20 кВ: $P = U^2 / R = (20 \cdot 10^3)^2 / 400 \cdot 10^6 = 1\text{ Вт}$.

Максимальное напряжение, при котором обеспечивалась стабильная работа всех элементов, составило 24 кВ. Таким образом, запасаемая энергия в конденсаторе 16 кВ * 1 мкФ составляет: $E =$

$C \cdot U^2 / 2 = 10^{-6} \cdot (16 \cdot 10^3)^2 / 2 = 128$ Дж, а в конденсаторе 40 кВ * 0,25 мкФ: $E = 0,25 \cdot 10^{-6} \cdot (24 \cdot 10^3)^2 / 2 = 72$ Дж. Данной энергии достаточно, чтобы дробить хрупкие материалы, например, стекло.

Рабочая емкость изготовлена из кружки из нержавеющей стали объемом 1 л, которая является отрицательным электродом. Положительный электрод представляет собой шпильку из нержавеющей стали диаметром 3 мм со скруглением на рабочем конце. В ходе экспериментов установлено, что ПВХ изоляция от кабелей и ПВХ-изолянта выходят из строя через 50–100 импульсов: происходит либо пробой, либо разрушение со стороны рабочего конца от воздействия ударных волн. Хорошо работает изоляция в виде втулки из фторопласта с углублением в центральной части, при этом торец электрода не выступает за край втулки, а от сползания вверх в результате воздействия ударных волн она надежно удерживается гайкой.

Втулка выдержала 500–600 импульсов без видимых повреждений. В такой же втулке, но без углубления в центральной части после ~150 импульсов появилась трещина со стороны рабочего конца по всему диаметру глубиной 5 мм, что приводит к потерям энергии.

Оптимальное расстояние δ искрового промежутка в мм определяется по следующей формуле [1]:

$$\delta = 0,06 \times U^2 \times \sqrt[8]{C},$$

где U – напряжение пробоя, кВ;

C – емкость накопительного конденсатора, мкФ.

Как видно из формулы, расстояние искрового промежутка в значительной степени зависит от напряжения. Для стабильности разряда при плотном заполнении объема жидкости различными телами и частицами (например, при дроблении материалов) следует делить δ на коэффициент $k = 1,2–1,4$.

Для экспериментов были взяты 3 рюмки с толщиной стенки 1,5 мм и толщиной дна 7 мм общей массой 100 грамм.

В качестве рабочего конденсатора использовался К75-29 номинала 40 кВ * 0,25 мкФ. Напряжение пробоя составляло в среднем 21 кВ, таким образом, запасаемая энергия равна 55 Дж. Максимальная частота следования импульсов составила 1/14 Гц, типичная – 1/19 Гц. Таким образом, полезная мощность установки составляет 2,9–4 Вт. В разряд уходит порядка 95–97 % энергии конденсатора.

Энергия обработки составила 900 импульсов (~47,5 кДж или 13,2 Вт*ч). Приблизительное распределение фракций полученного боя стекла представлено на диаграмме (рисунок 1). Следует отметить, что для повышения энергоэффективности при дроблении на мелкие фракции нужно повышать рабочее напряжение установки до 50 кВ и более [3].

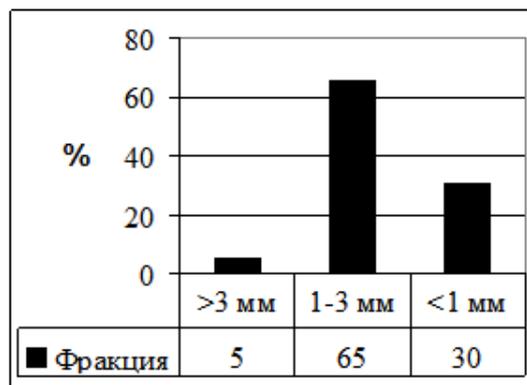


Рис. 1. Распределение дробленого стекла по фракциям

В целом по проделанной работе можно сделать следующие выводы:

1) Создание установок на основе электрогидравлического эффекта из имеющихся в свободной продаже материалов и компонентов возможно, однако их мощность невелика и ограничено максимальное напряжение на уровне 25–30 кВ;

2) Энергозатраты на разработанной установке для получения фракций стекла < 1 мм составляют 0,44 кВт*ч / кг;

3) В целом, разработанная установка пригодна для лабораторных исследований с использованием электрогидравлического эффекта в применениях, где не требуется высокая частота следования импульсов и способна работать в продолжительном режиме.

Список литературы

1. *Гаврилов Г.Н.* Разрядноимпульсная технология обработки минеральных сред // Г.Н. Гаврилов. Киев: Наук. думка, 1979. 164 с.
2. *Наугольных К.А.* Электрические разряды в воде // К.А. Наугольных, Н.А. Рой. М.: «Наука», 1971. 155 с.
3. *Юткин Л.А.* Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности // Л.А. Юткин. Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1986. 253 с., ил.