

УДК 533.922

ЧАСТОТНЫЙ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ДЕЗИНТЕГРАТОР ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ДЛЯ МЧС И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Тарковский В.В., Василевич А.Е., Балыкин А.С.,
Леванович А.В., Филипович С.М., Сакович Э.И.

Разработан частотный электрогидравлический дезинтегратор железобетонных объектов. Дезинтегратор предназначен для использования в подразделениях МЧС при разрушении бетонных объектов и их утилизации, а также решения ряда задач промышленности (очистки отливок от формовочной смеси; декольматации фильтров водозаборных скважин; очистки труб от наслоений; поиска места повреждения подземного кабеля; раскалывания гранитных негабаритов в карьерах; установки свай по технологии РИТ и множестве других применений).

Ключевые слова: электрогидравлический эффект Юткина; дезинтегратор; железобетон; утилизация; частотный режим.

(Поступила в редакцию 13 марта 2017 г.)

Введение. Одним из перспективных направлений использования электрогидравлических технологий является возможность безвзрывного разрушения объектов из бетона при проведении аварийно-спасательных работ. В их основе лежит электрогидравлический эффект Юткина [1, 2, 3]. Частотный режим работы устройства предоставляет возможность быстрой и безопасной утилизации старых строений за счет электрогидравлического измельчения бетона, камня и кирпича. Существующие установки имеют очень большие габариты и вес, который порой достигает до 10 тонн [4]. Это затрудняет их оперативное использование и требует для их транспортировки автомобилей большой грузоподъемности. В связи с этим представляет большой интерес создание сверхмощных, но компактных устройств, обладающих небольшим весом и габаритами [2, 3]. В нашем устройстве снижение веса (до 150-200 кг) и увеличение мощности достигается путем использования, в частности, конденсаторов нового поколения с повышенной удельной энергоемкостью (более 1000 Дж/дм³), а также использование для питания емкостного накопителя мощных малогабаритных источников постоянного тока нового поколения. А частотный режим работы электрогидравлического устройства очень сильно расширяет спектр его прикладного использования в реальном секторе экономики.

Применение предлагаемого частотного дезинтегратора позволяет значительно облегчить осуществление аварийно-спасательных работ и сократить время их проведения, обезопасить жизнь и здоровье людей, исключить выделение вредных веществ, воздействие ударных и акустических волн, разлетающихся осколков [1]. Кроме сферы МЧС, предлагаемое устройство можно будет применять в машиностроении, в ремонте техники, в сельском хозяйстве, в ЖКХ, в энергетике и связи, в строительной отрасли, в горном и гидрометаллургическом производстве, в медицине. Наиболее перспективной областью применения разрабатываемого дезинтегратора является утилизация старых железобетонных плит, что является актуальной проблемой не только в нашей стране, но и в странах Евросоюза.

Электрогидравлическая дезинтеграция различных материалов является инновационным способом дробления и в зависимости от режима работы электрогидравлического устройства позволяет получать любую степень измельчения [5]. Электрогидравлические дезинтеграторы имеют неоспоримое преимущество перед механическими, так как не имеют движущихся частей, а это значит – не изнашиваются в процессе эксплуатации. Во-вторых, при их работе не образуется пыль, разлетающиеся осколки, не образуется вредных газов. Процесс дробления, смешения и флотации соединяются в едином технологическом цикле [5].

Принцип работы электрогидравлических дезинтеграторов. В основу методики, как упоминалось выше, положен электрогидравлический эффект Юткина, основанный на использовании энергии плазмы, возникающей при коротком электрическом разряде в закрытом объеме, заполненном водой.

В объекте, предназначенном для раскалывания, выполняются цилиндрические шпуровые отверстия (диаметром 20-30 мм и глубиной 400-500 мм), которые заполняются водой. После введения в шпуровые отверстия специальных излучателей, в воде производится сверхмощный электрический разряд.

Разряд приводит к образованию плазменного шнура, который расширяется со скоростью свыше 1400 м/с. Ограниченные жидкостью пар и плазма образуют полость, представляющую собой кавитационный пузырь. Этот пузырь растет до максимального размера и через несколько сотен микросекунд схлопывается. Возникает кумулятивный эффект, похожий на тот, что используется в бронебойных снарядах. Возникающее на этой стадии давление, по оценкам, может достигать 450 тысяч атмосфер [5]. Ударные волны, наводимые во время расширения плазмы и схлопывания пузыря, являются причиной механических напряжений, испытываемых объектом разрушения (бетонной или каменной конструкцией).

В случае электрогидравлического дробления железобетона объект помещается в металлическую ванну заполненную водой. В воду вблизи железобетонной плиты помещается ряд излучателей. При этом электрогидравлический дезинтегратор должен работать в частотном режиме. Излучатели представляют собой высоковольтные коаксиальные кабели типа КПВГ-100. Источник питания на срезе кабеля между центральной жилой и оплеткой формирует высоковольтные импульсы. Частота следования импульсов регулируется в пределах 1-10 Гц. Каждый импульс наводит в жидкой среде ударные волны, которые являются причиной разрушения железобетона. После завершения процесса стальная арматура удаляется при помощи электромагнита [5].

Принципы построения источников питания для электрогидравлических дезинтеграторов. Как показывает практика, для успешной работы электрогидравлических дезинтеграторов достаточно использовать источники электропитания с низкой частотой повторения импульсов (до 30 Гц) [5]. Здесь можно использовать два типа импульсных источников питания: с индуктивно-емкостными преобразователями и с реактивными токоограничительными элементами. За основу можно взять источники, которые разрабатывались для питания импульсных лазеров (твердотельных или на красителях) [6]. Это рационально и с такой точки зрения, что к настоящему времени промышленностью освоено и выпускается большое количество таких импульсных источников питания [6,7,8].

В импульсных источниках питания с индуктивно-емкостными преобразователями чаще всего используется модулятор МТ-42 [9,10]. Силовая часть в этих источниках питания управляется системой управления модулятором (СУМ-10). Модулятор МТ-42 имеет следующие основные технические данные:

- пределы плавного регулирования напряжения на накопительных конденсаторах 250–1000 В;
- стабильность предразрядного значения на накопительных конденсаторах – не хуже ± 1 %;
- максимальная частота следования разрядных импульсов 20 Гц;
- средняя потребляемая мощность от сети 12 кВт.

В импульсных источниках питания с реактивными токоограничительными элементами в качестве таковых чаще всего используются емкостные типа МИЛ-29 [11]. Накопительные конденсаторы здесь заряжаются по принципу удвоения напряжения. Такая схема обладает многими преимуществами: высоким КПД, ограниченным значением напряжения холостого хода, возможность уменьшения входного напряжения в два раза, нечувствительностью к коротким замыканиям. Однако такие источники имеют существенный недостаток. В них зарядный коммутатор установлен последовательно с первичной обмоткой входного трансформатора. Это приводит к тому, что входной трансформатор может подмагничиваться. Это приводит к тому, что в его первичной обмотке возникают скачки тока, а это, в свою очередь, увеличивает потери энергии в трансформаторе и коммутаторе [11].

Существует три способа улучшения схемы. Во-первых, можно момент включения зарядного коммутатора синхронизовать с фазой входного напряжения сети. Во-вторых, если перенести зарядный коммутатор на вторичную сторону трансформатора, то можно устранить подмагничивание. К сожалению, первые два способа приводят к усложнению схемы. Поэтому лучше воспользоваться третьим способом, который предполагает совмещение функций зарядного коммутатора и выпрямителя и размещение этого объединенного устройства на вторичной стороне трансформатора. Эта схема была воплощена в импульсном модуляторе МИЛ-49 [6, 12]. Он состоит из импульсного источника питания (ИПИ-2) и упоминаемой выше системы управления модулятором (СУМ-10).

Так как второй принцип построения импульсных источников питания имеет преимущества перед первым, было решено при создании импульсного источника питания для электрогидравлического дезинтегратора руководствоваться решениями, полученными при

конструировании импульсных источников питания с реактивными токоограничительными элементами.

Результаты и их обсуждение. Разработаны структурная и принципиальные схемы частотного электрогидравлического устройства. Для управления электрической силовой частью разработанного устройства используется стандартная система управления модулятором тока СУМ-10В-1 [6, 9, 10, 11].

Источники питания устройства выполняются в стоечном варианте и имеют блочную конструкцию». Источники состоят из следующих основных блоков (рисунок 1):

- источник тока;
- выпрямитель;
- система управления модулятором (СУМ-10В-1).

Рабочий цикл источников в режиме синхронизированного заряда (СЗ или ДАТЧ. СЗ) от внутреннего или внешнего генератора можно разбить на три этапа:

- исходное состояние;
- заряд емкостного накопителя;
- разряд емкостного накопителя.

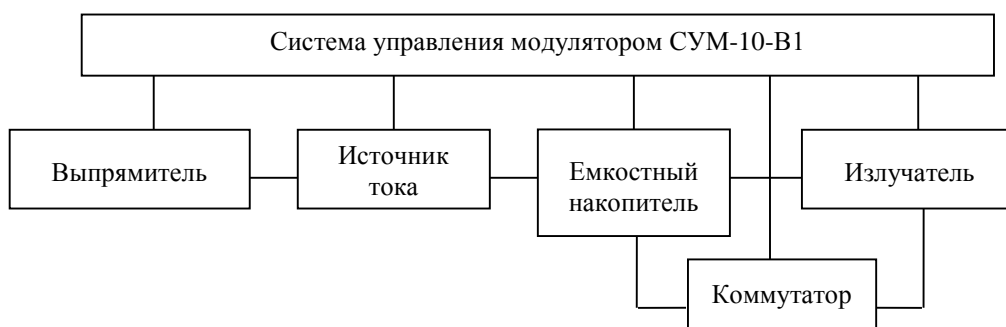


Рисунок 1. – Структурная схема частотного электрогидравлического устройства

В исходном состоянии емкостный накопитель разряжен; с СУМ-10В-1 на зарядный коммутатор источника тока поступают положительные импульсы; зарядный коммутатор закорачивает выход индуктивно-емкостного преобразователя (ИЕП) (рисунок 2).

Начало второго этапа рабочего цикла источников – заряд емкостного накопителя определяется запускающим импульсом, который вырабатывается в СУМ-10В-1. С появлением запускающего импульса зарядный коммутатор выключается и начинается заряд емкостного накопителя по линейному закону.

Величина напряжения зарядки конденсаторов зависит от положения регулятора «Напряжение накопителя» на лицевой панели СУМ-10В-1. С помощью регулятора регулируется опорное напряжение (напряжение уставки). С делителя обратной связи (ДОС), находящегося в выпрямителе (рисунок 3), сигнал, пропорциональный напряжению на емкостном накопителе, поступает в СУМ-10В-1 и сравнивается с напряжением уставки. В момент равенства этих напряжений СУМ-10В-1 начинает выдавать импульсы на зарядный коммутатор, который отключает выпрямитель от источника тока. Процесс зарядки конденсатора закончен.

На третьем этапе рабочего цикла источников на выходе источника питания появляется ряд командных импульсов для запуска внешних устройств. Происходит разряд емкостного накопителя.

Работа источников в режиме синхронизированного разряда (СР или ДАТЧ.СР) от внутреннего или внешнего генератора отличается от рассмотренной ранее тем, что на емкостном накопителе постоянно поддерживается напряжение, заданное регулятором «Напряжение накопителя»; при появлении запускающего импульса, который формируется в СУМ-10В-1, происходит разряд емкостного накопителя.

Напряжение на емкостном накопителе контролируется индикатором «Напряжение накопителя», находящимся на лицевой панели СУМ-10В-1.

Изменение тока прибора от 0 до 100 мкА соответствует изменению напряжения на емкостном накопителе от 0 до 22 кВ.

Для индикации процесса заряда емкостного накопителя служит индикаторная лампа «РУ» на лицевой панели СУМ-10В-1, которая светится, когда нет зарядки накопителя.

Напряжение сети через выключатель S2, находящийся на панели и магнитный пускатель К1 в источнике тока (рисунок 2) подается на индуктивно-емкостный преобразователь (ИЕП), который состоит из дросселя L1 и конденсаторов C1..C4 (C12).

ИЕП обеспечивает постоянство зарядного тока и соответственно линейный характер изменения напряжения на накопительных конденсаторах. Режим холостого хода недопустим, так как в этом режиме резко возрастает потребляемый ток, возрастает напряжение на выходе ИЕП и на накопительных конденсаторах. Для защиты ИЕП от режима холостого хода служит блок защиты БЗ-1Ф, отключающий ИЕП от сети, как только напряжение на его выходе превысит допустимое. Для управления процессом зарядки накопительных конденсаторов служит коммутатор зарядный АЗ (рисунок 2). В коммутаторе применен семиистор VD1, проводящее состояние которого соответствует отключению выпрямителя от ИЕП и прекращению заряда накопительных конденсаторов. Управляющие сигналы на семиистор поступают от СУМ-10В-1 и БЗ-1Ф.

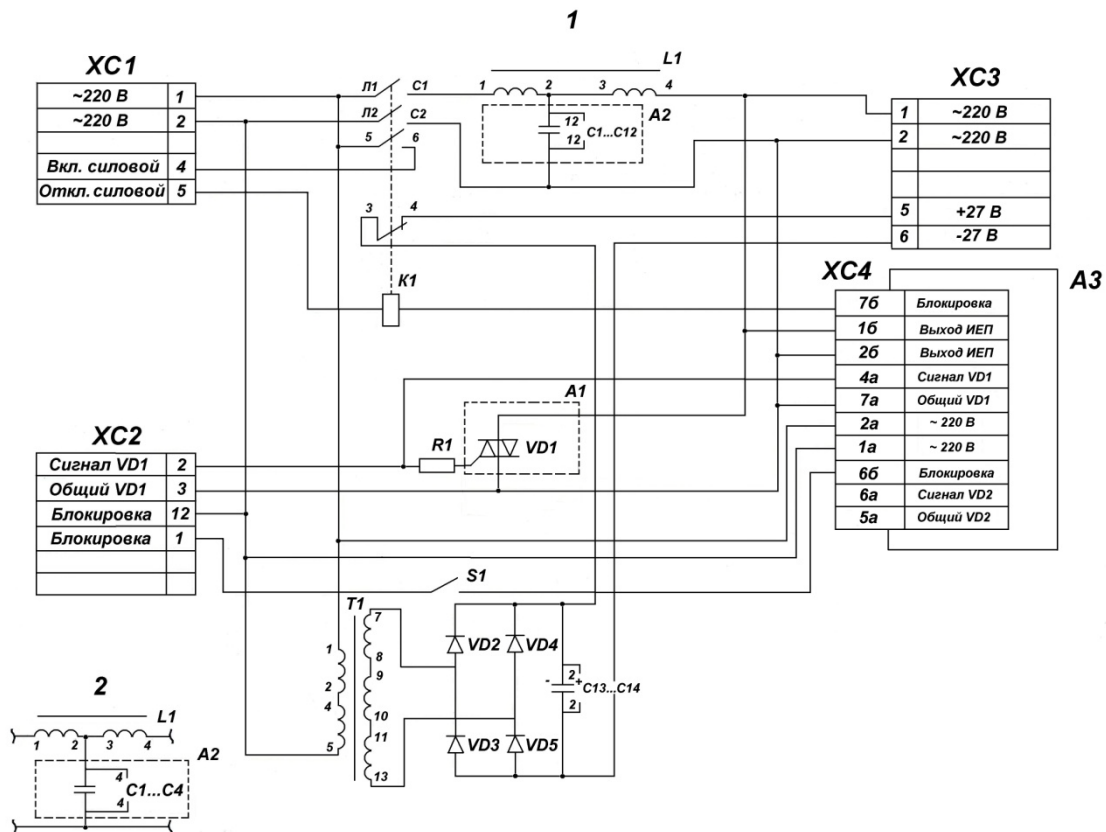


Рисунок 2. – Принципиальная электрическая схема источника тока

Блок защиты БЗ-1Ф (рисунок 4) представляет собой пороговое устройство на основе транзисторов Т3, Т4.

Сравниваемое переменное напряжение выпрямляется диодами Д13-Д16 и через делитель R1-R13 и диод Д12 поступает на эмиттер транзистора Т4. Опорное напряжение на базе транзистора Т4 задается стабилитроном Д10. Если сравниваемое напряжение превысит определенное значение, величина которого устанавливается резистором R11, то происходит лавинообразное отпирание транзисторов Т3, Т4; при этом подаются управляющие сигналы на тиристорный ключ ДУ1, стоящий в цепи питания обмотки реле Р1 и ждущий блокинг-генератор, собранный на транзисторе Т1.

Сигналы с выхода блокинг-генератора поступают на симистор зарядного коммутатора, который предварительно закорачивает выход ИЕП в источнике тока, предотвращая тем самым перенапряжение в ИЕП, которое может возникнуть в случае холостого хода и отключения от сети ИЕП. Реле Р1 обладает инерционностью и срабатывает позже блокинг-генератора. При срабатывании реле Р1 ИЕП отключается от сети.

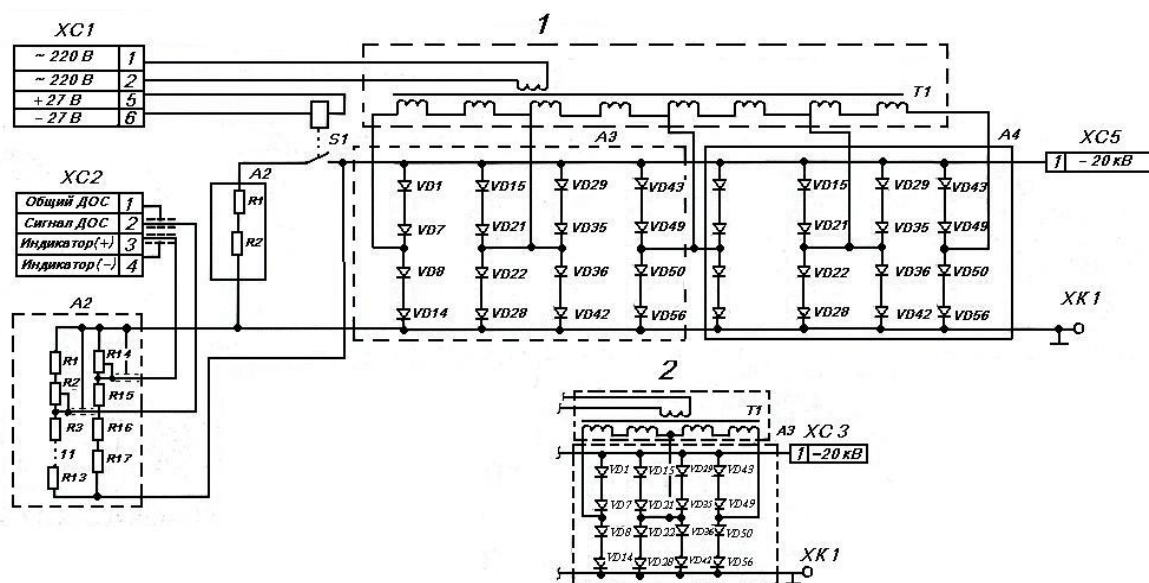


Рисунок 3. – Принципиальная электрическая схема выпрямителя

Выпрямитель (рисунок 3) предназначен для выпрямления неизменного значения переменного синусоидального тока, поступающего от ИЕП, повышения выходного напряжения и согласования с нагрузкой для получения высоких энергетических показателей.

К вторичным обмоткам трансформатора подключаются отдельные вентильные мосты, расположенные в вентильных блоках.

Для разряда накопительных конденсаторов при отключении ИЕП от сети служит выключатель S1 и блок балластных сопротивлений A2.

В блок A1 входят делитель обратной связи (ДОС) и делитель стрелочного прибора; который расположен на лицевой панели СУМ-10В-1.

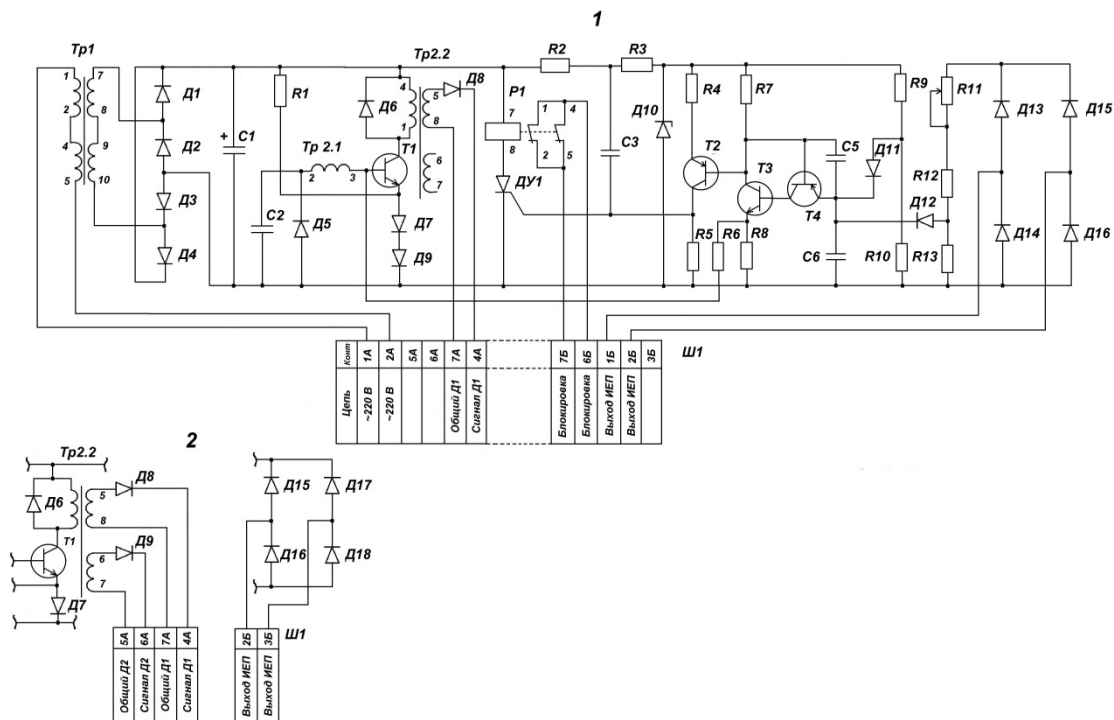


Рисунок 4. – Принципиальная электрическая блока защиты

На основе принятых решений по построению импульсного источника питания был создан лабораторный макет маломощного частотного электрогидравлического дезинтегратора и проведены его лабораторные испытания. В качестве объекта испытания был выбран фрагмент железобетонной плиты, которая была помещена в техническую воду, находящуюся в пластиковом баке.

Установка работала в частоте от 1 до 5 Гц. Энергия выделяемая при генерации электрогидравлического эффекта составляла от 100 до 200 Дж. Испытания показали правильность выбранных решений. При использовании даже такого маломощного лабораторного макета наблюдался устойчивый электрогидравлический эффект и происходила фрагментация железобетонной плиты. На рисунке 5 показаны последовательные фазы частотного электрогидравлического воздействия на фрагмент железобетонной плиты находящейся в емкости с водой. Видно начало электрогидравлического эффекта (1), максимальная фаза (2) и финальный результат, сопровождающийся выбросом воды из емкости (3).

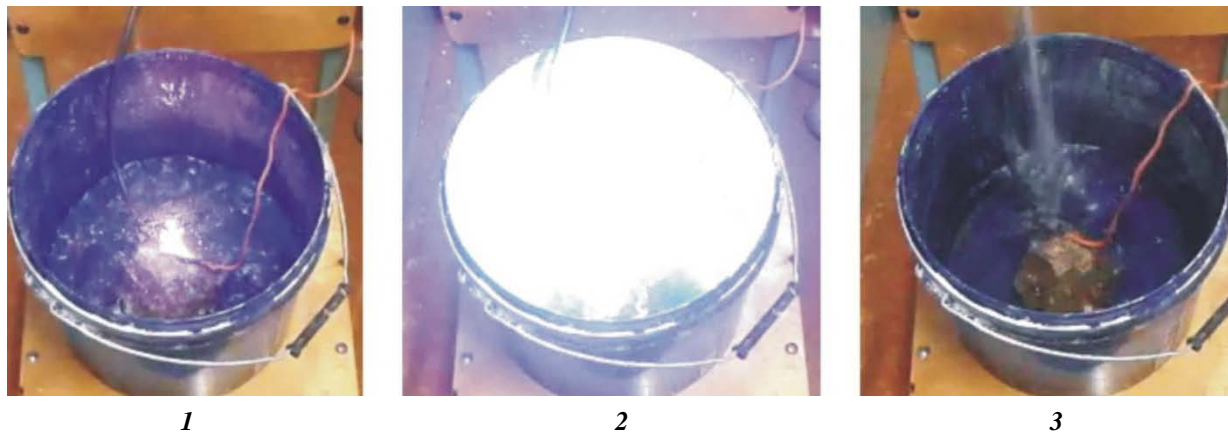


Рисунок 5. – Последовательные фазы частотного электрогидравлического воздействия на фрагмент железобетонной плиты находящейся в емкости с водой:
 1 – начало процесса, 2 – максимальная фаза, 3 – финальная фаза

На рисунке 6 показан результат кратковременного (2) и долговременного (3) частотного электрогидравлического воздействия на фрагмент железобетонной плиты находящейся в емкости с водой. Рисунки показывают, что происходит полное разрушение фрагмента железобетонной плиты и разделение ее на бетонную крошку и стальную арматуру. И то и другое может быть использовано в качестве вторичного сырья.

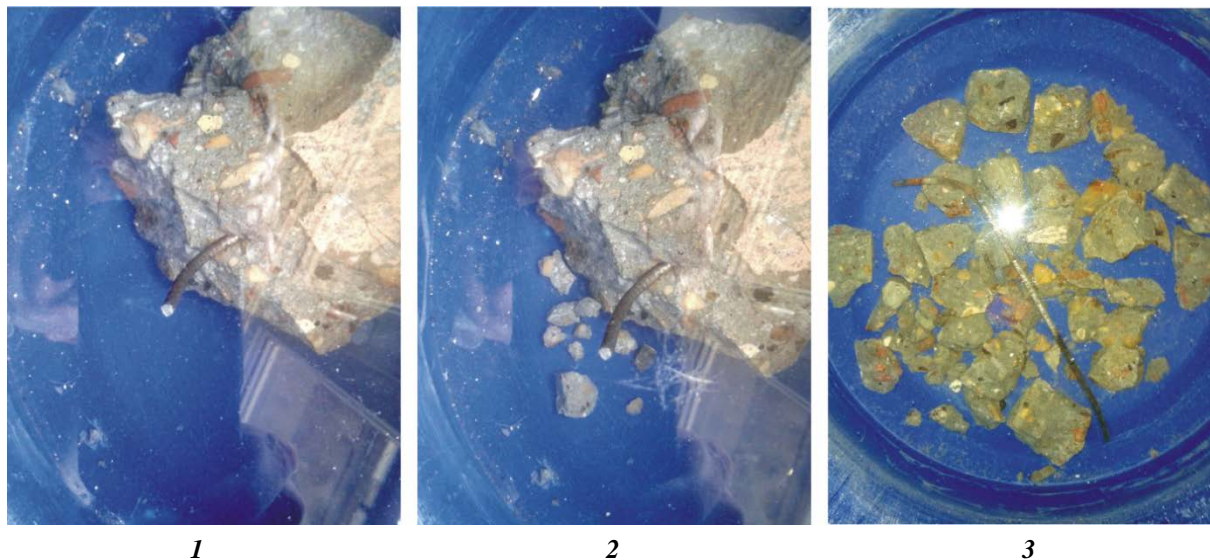


Рисунок 6. – Результат кратковременного частотного электрогидравлического воздействия на фрагмент железобетонной плиты находящейся в емкости с водой

В ходе экспериментов было установлено, что эффективность частотного электрогидравлического дробления при одном и том же энергокладе существенно зависит от степени изоляции боковой поверхности излучателя от воды. Исследования показали, что возможны две методики дробления железобетона. В первой срез высоковольтного кабеля типа КПВГ-100 просто помещается вблизи объекта разрушения. При подаче высоковольтных импульсов между центральной жилой кабеля и оплеткой возникает плазма, в результате расширения которой возникают мощные ударные волны и разрушают железобетон. Во втором случае один из электродов излучателя закрепляется на стальной арматуре. Если она

скрыта, то разряд на арматуру может быть осуществлен через слой железобетона. В ходе разрушения железобетона арматура постепенно освобождается. Если она открыта, то разряд происходит по поверхности на обнаженную арматуру. Таким образом, разрушение железобетона может происходить комплексным способом.

Закключение. Таким образом, проведенные исследования показали правильность принципов, заложенных в конструкционных решениях частотного электрогидравлического дезинтегратора. Полученные результаты позволяют сконструировать мощное устройство, предназначенное для разрушения железобетонных объектов при проведении спасательных работ, а также решения ряда задач промышленности (очистки отливок от формовочной смеси; декольматации фильтров водозаборных скважин; очистки труб от наслоений; поиска места повреждения подземного кабеля; раскалывания гранитных негабаритов в карьерах; установки свай по технологии РИТ и др.). Наиболее перспективной областью использования частотного электрогидравлического дезинтегратора является утилизация старого железобетона. Предложенная технология обладает экологической чистотой, экономичностью, безопасна для людей и позволяет решить широкий круг задач в реальном секторе экономики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леванович А.В., Рыбачок А.И., Филипович С.М., Тарковский В.В., Балыкин А.С., Яничкин В.В. Электрогидравлические технологии для МЧС // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2012. – Т. 7, № 1. – С. 39-44.
2. Тарковский, В.В. Электрогидравлическое устройство повышенной мощности для раскалывания объектов из бетона и горных пород при проведении спасательных работ / В.В. Тарковский, А.Е. Василевич, А.В. Леванович, Э.И. Сакович, С.М. Филипович, А.С. Балыкин, П.Н. Стахейко // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2015. – Т.10, № 1. – С. 101-107.
3. Тарковский, В.В. Мощное, компактное электрогидравлическое устройство для раскалывания объектов из бетона и горных пород при проведении спасательных работ / В.В.Тарковский, А.Е. Василевич, А.С. Балыкин, П.Н. Стахейко, А.В. Леванович, Э.И. Сакович, С.М. Филипович, А.Н. Скрипко// ВіТР Bezpieczestwo i Technika Pożarnicza. – 2015. – Vol. 40 Issue 4. – P. 91–105.
4. Бугуславский Л.З., Струк Я.П., Диордийчук В.В., Овчинникова Л.Е. Генератор импульсов тока энергией 120 кДж с четырехканальным выводом для мобильных электроимпульсных установок // Вісник НТУ «ХП». – 2013. – № 27. – С. 27-32.
5. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л.А. Юткин – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986. – 253 с.
6. Вакуленко В.М., Иванов Л.П. Источники питания лазеров / В.М. Вакуленко, Л.П. Иванов. – М.: Сов. Радио, 1980. – 104 с.
7. Лисовский, Л.П. Современное состояние и перспективы развития лазерной технологии / Л.П. Лисовский, А.А. Чельный // Физика и химия обработки материалов. – 1967. – № 4. – С. 34-39.
8. Блоки питания лазерных технологических установок // Электронная промышленность. – 1967. – № 1. – С. 68.
9. Моноимпульсный ОКГ с каскадными умножителями и перестраиваемым преобразователем частоты / В.М. Вакуленко и [др.] // ПТЭ. – 1971. – № 5. – С. 197-200.
10. Установка «Квант-9» для сверления отверстий / В.М. Вакуленко и [др.] // Квантовая электроника. – 1973. – № 2. – С. 99-102.
11. Вакуленко, В.М. Зарядная цепь емкостного накопителя с удвоением напряжения / В.М. Вакуленко, Л.П. Иванов // ПТЭ. – 1970. – № 5. – С. 110-112.
12. А.С. 379956 (СССР). Устройство для зарядки накопительных конденсаторов / Авт. изобр.: В.А. Белявцев, В.М. Вакуленко, Л.П. Иванов, В.П. Мызников. – Оpubл. в БИ, 1973, № 20.

FREQUENCY ELECTROHYDRAULIC DISINTEGRATOR OF REINFORCED CONCRETE FOR THE MINISTRY OF EMERGENCY SITUATIONS AND THE INDUSTRY

Vikentiy Tarkovsky, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

Alexander Vasilevich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

Alexander Balykin

The educational establishment «Yanka Kupala State University of Grodno», Grodno, Belarus

Andrey Levanovich

Siarhei Filipovich

Ernest Sakovich

The establishment «Grodno Regional Ministry for Emergency Situations Management», Grodno, Belarus

Purpose. The work is devoted to the creation of a frequency electrohydraulic disintegrator of reinforced concrete objects.

Methods. The electrohydraulic effect of Yutkin created in result of electric discharge in the liquid environment powerful shock waves which destroy reinforced concrete objects is used.

Findings. The frequency electrohydraulic disintegrator of reinforced concrete objects is developed. Weight reduction (to 150-200 kg) and increase in power is reached by use, in particular, of condensers of new generation with the increased specific power consumption (more than 1000 J/dm³), and also use for power supply of the capacitor store of powerful small-sized sources of a direct current of new generation.

Application field of research. The disintegrator is intended for use in the divisions of the Ministry of Emergency Situations at destruction of concrete objects and their utilization, and also for the solution of a number of tasks of the industry (cleanings of castings of forming mix; restoration of filters of water wells; cleanings of pipes of stratifications; search of the place of damage of an underground cable; splitting of granite; installations of piles on RIT technology and a set of other applications).

Conclusions. The conducted researches have shown correctness of the principles underlaining in constructional solutions of a frequency electrohydraulic disintegrator. The received results allow designing the powerful device intended for destruction of reinforced concrete objects when carrying out rescue efforts and also solutions of a number of tasks of the industry. The offered technology has ecological purity, profitability; it is safe for people and allows solving a wide range of tasks in real sector of economy.

Keywords: Yutkin electrohydraulic effect; disintegrator; reinforced concrete; recycling; frequency mode.

(The date of submitting: March 13, 2017)

REFERENCES

1. Levanovich A.V., Rybachok A.I., Filipovich S.M., Tarkovskiy V.V., Balykin A.S., Yanichkin V.V. Elektrogidravlicheskie tekhnologii dlya MChS [Electrohydraulic technologies for the Ministry of Emergency Situations]. *Chrezvychaynye situatsii: obrazovanie i nauka*. 2012. Vol. 7, No. 1. Pp. 39-44. (rus)
2. Tarkovskiy V.V., Vasilevich A.E., Levanovich A.V., Sakovich E.I., Filipovich S.M., Balykin A.S., Stakheyko P.N. Elektrogidravlichesкое ustroystvo povyshennoy moshchnosti dlya raskalyvaniya ob"ektov iz betona i gornykh porod pri provedenii spasatel'nykh rabot [The electrohydraulic device of the increased power for splitting of objects from concrete and rocks when carrying out rescue efforts]. *Chrezvychaynye situatsii: obrazovanie i nauka*. 2015. Vol. 10, No. 1. Pp. 101-107. (rus)
3. Tarkovskiy V.V., Vasilevich A.E., Balykin A.S., Stakheyko P.N., Levanovich A.V., Sakovich E.I., Filipovich S.M., Skripko A.N. Moshchnoe, kompaktnoe elektrogidravlichesкое ustroystvo dlya raskalyvaniya ob"ektov iz betona i gornykh porod pri provedenii spasatel'nykh rabot [The powerful, compact electrohydraulic device for splitting of objects from concrete and rocks when carrying out rescue works]. *BiTP Bezpieczestwo i Technika Pożarnicza*. 2015. Vol. 40 Issue 4. Pp. 91-105. (rus)
4. Buguslavskiy L.Z., Struk Ja.P., Diordiychuk V.V., Ovchinnikova L.E. Generator impul'sov toka energiyey 120 kDzh s chetyrekhkanal'nym vyvodom dlya mobil'nykh elektroimpul'snykh ustanovok [The generator of current pulses with the energy of 120 kJ with a four channel output for mobile electropulse installations]. *Visnik NTU «KhPI»*. 2013. No. 27. Pp. 27-32. (rus)

5. Yutkin L.A. *Elektrohidravlicheskiy effekt i ego primeneniye v promyshlennosti* [Electrohydraulic effect and its application in industry]. Leningrфв: Mashinostroeniye, Leningr. otd-niye, 1986. 253 p. (rus)
6. Vakulenko V.M., Ivanov L.P. *Istochniki pitaniya lazerov* [Power supplies of lasers]. Moscow: Sov. Radio, 1980. 104 p. (rus)
7. Lisovskiy L.P., Chel'nyy A.A. *Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya lazernoy tekhnologii* [Current state and perspectives of development of laser technologies]. *Fizika i khimiya obrabotki materialov*. 1967. No. 4. Pp. 34-39. (rus)
8. *Bloki pitaniya lazernykh tekhnologicheskikh ustanovok* [Power supply units of laser technological machines]. *Elektronnaya promyshlennost'*. 1967. No. 1. Pp. 68. (rus)
9. Vakulenko V.M. and oth. *Monoimpul'snyy OKG s kaskadnymi umnozhitelyami i perestraivaemym preobrazovatelem chastoty* [Monopulse OKG with cascade multipliers and the reconstructed frequency converter]. *PTE*. 1971. No. 5. Pp. 197-200. (rus)
10. Vakulenko V.M. and oth. *Ustanovka «Kvant-9» dlya sverleniya otverstiy* [The installation «Kvant-9» for drilling holes]. *Kvantovaya elektronika*. 1973. No. 2. Pp. 99–102. (rus)
11. Vakulenko V.M. *Zaryadnaya tsep' emkostnogo nakopiteli s udvoeniem napryazheniya* [A charging chain of capacitor storage device with doubling of tension]. *PTE*. 1970. No. 5. Pp. 110-112. (rus)
12. Belyavtsev V.A., Vakulenko V.M., Ivanov L.P., Myznikov V.P. *A.S. 379956 (SSSR). Ustroystvo dlya zaryadki nakopitel'nykh kondensatorov* [A.S. 379956 (USSR). The device for charging accumulative kondensatorov]. publ. in BI, 1973, No. 20. (rus)