

сти, начальные распределения температуры для нестационарных задач, а также граничные условия, определяющие теплообмен на границе стенка–поток [4].

#### Выводы

1. Для исследования конвективного переноса теплоты в защитном пакете в системе дифференциальных уравнений произведен учёт подъемной силы, возникающей при свободном движении потока.

2. Для решения системы дифференциальных уравнений необходимо использовать условия однозначности конкретного случая теплообмена, позволяющие определить коэффициенты теплоотдачи и величины тепловых потоков.

#### Литература

1. Патент на изобретение № 2495609 от 07.02.2012. Костюм боевой одежды спасателей, действующих в условиях горящих объектов при наличии летящих и падающих предметов разрушающегося объекта / *Алюбов М.Н., Прищепов Д.З., Кочетов О.С.* [и др.]. – Оpubл. 20.10.2013.
2. *Мухамедиева Л.Н., Марданов Р.Г., Новиков Д.З.* Огнетушащие газы: вопросы безопасности для человека // Системы безопасности. – 2007. – № 5. – С. 150–151.
3. Оценка опасности токсического воздействия огнетушащих газов и аэрозолей, применяемых для объемного пожаротушения: метод. пособие / МЧС РФ, ВНИИПО. – М., 2005.
4. *Чиркин В.С.* Теплофизические свойства материалов ядерной техники: справ. – М.: Атомиздат, 1968. – 484 с.



УДК 624.92

*И.О. Егорушкин, Я.А. Кунгс,  
А.И. Орленко, А.В. Юрьев*

#### ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНЫЙ СПОСОБ РЕЦИКЛИНГА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Предлагается способ разрушения (измельчения) железобетонных изделий с помощью установки, использующей электрогидравлический эффект. Отмечаются преимущества предлагаемой технологии по сравнению с механическими способами.*

**Ключевые слова:** электрогидроимпульсный способ, рециклинг, электрогидроэффект, утилизация, железобетонные изделия.

*I.O. Egorushkin, Ya. A. Kungs,  
A.I. Orlenko, A.V. Yuriev*

#### THE ELECTRO-HYDROIMPULSIVE METHOD OF THE FERROCONCRETE STRUCTURE RECYCLING

*The destruction method for the ferroconcrete products with the help of the device using the electro-hydraulic effect is offered. The advantages of the proposed technology in comparison with the mechanical methods are noted.*

**Key words:** electro-hydroimpulsive method, recycling, electro-hydraulic effect, utilization, ferroconcrete products.

---

**Введение.** Проблема утилизации бетонных и железобетонных (ЖБ) конструкций остро стоит во всем цивилизованном мире. По данным международной организации RILEM, в странах ЕС, США и Японии в 2000 г. ежегодный объем только бетонного лома составил более 360 млн т. Начиная с

70-х годов прошлого века во многих странах ведутся широкомасштабные исследования в области переработки бетонных и железобетонных отходов, изучения технико-экономических, социальных и экологических аспектов использования получаемых вторичных продуктов.

В бывшем СССР внимание к этому вопросу было привлечено в конце 70-х годов. Тогда считалось, что утилизация имеющихся отходов позволила бы вовлечь в хозяйственный оборот около 40 млн тонн бетонного лома и около 1,2 млн тонн металла. Однако реальных мер для решения этой проблемы принято не было.

В настоящее время основными методами утилизации железобетонных изделий (ЖБИ) являются метод рециклинга (разрушение с последующим вторичным использованием продуктов разрушения) и захоронение на полигонах.

К сожалению, рециклинг в нашей стране на сегодняшний день занимает менее 1%, в то время как в развитых странах рециклинг занимает более 90 % (в Германии 100%).

В то же время правильно переработанные и отслужившие свой срок ЖБИ представляют собой вторичное сырье, использование которого после переработки на вторичный щебень может снизить затраты на новое строительство объектов промышленного, гражданского и сельскохозяйственного строительства и одновременно позволит уменьшить нагрузку на городские и сельские полигоны, исключить образование несанкционированных свалок. Вторичный щебень из бетона оказывается значительно дешевле природного, так как энергозатраты на его производство в 8 раз меньше, а себестоимость бетона с ним снижается на 25 %. Извлеченная арматура может идти на переплавку либо во вторичное производство изделий (после реставрации). Таким образом, переработка ЖБ отходов, создание системы рециклинга становится перспективным и высокоэкономичным производством, решающим важнейшую экологическую и экономическую задачу.

Перерабатываемость для вторичного использования у железобетона весьма высокая. Арматурная сталь и закладные детали идут в переплавку, а отходы бетона практически полностью могут быть применены повторно в качестве заполнителя для обычных бетонов или как балласт в дорожно-транспортном строительстве. Кроме строительства, дробленый бетон применяют при рекультивации земель для засыпки выработок в грунте.

Несмотря на большие объемы переработки, на сегодняшний день широко не утвердилось высокоэффективная технология для этого процесса. Сегодня в основном находят применение такие технологии разрушения ЖБИ, как **статические** (раскалывание, резка и расширение) и **динамические** (ударный, вибрационный, взрывной), при этом удельные энергетические затраты более низкие при динамических методах. В настоящее время наибольшие результаты достигнуты в совершенствовании технологии разрушения строительных конструкций ударными методами – раскалыванием, дроблением и статическими – резкой и расширением, с последующим высвобождением от арматуры и доведением разрушенного бетона до необходимой фракционности в дробилках. Основные недостатки данных технологий – большой вес оборудования, необходимость в площадке большой площади, высокая стоимость обслуживания установки, высокий процент ручного труда, разрушение ЖБИ определенных геометрических пропорций, производительность, шумность и наличие пыли. Поэтому **целью наших исследований** является разработка такой технологии разрушения ЖБИ, которая могла бы позволить:

- снизить затраты на разрушение;
- увеличить производительность труда и уменьшить применение физического труда;
- увеличить срок службы используемого оборудования.

**Электрогидравлический эффект.** Наряду с общеизвестными средствами разрушения в последние годы пробивают себе дорогу и находят применение для разрушения железобетонных и других конструкций такие средства, как установки электрогидравлического эффекта (ЭГЭ).

Принцип действия электрогидравлических установок (ЭГУ) основан на применении электрогидравлического эффекта Л.А. Юткина [1], который представляет собой высоковольтный импульсный разряд электрического тока в жидкости, сопровождающийся выделением энергии в виде ударных и акустических волн.

Суть электрогидравлического эффекта состоит в том, что электрическая энергия в сформированном особым образом импульсном электрическом разряде внутри плотной среды превращается в механическую без промежуточных звеньев [2]. Поэтому КПД метода велик. Мощность ЭГ-удара за микросекунды достигает сотен тысяч киловатт. ЭГЭ не только создает в среде вокруг зоны разряда высокие и сверхвысокие давления, но и сопровождается целым комплексом физико-химических явлений. Это и резонансные явления, и инфра- и ультразвуковые колебания большой интенсивности. Такая встряска способна не только измельчать твердые материалы, но и разрывать химические связи в молекулах. Образовавшиеся осколки – радикалы – затем вновь соединяются, но частично по-новому, образуя новые вещества. Например, растворенный в обычной поливной воде биологически инертный азот превращается в оксиды ЭГ-ударом, здесь резко возрастает содержание ионов  $\text{NO}_2$  и  $\text{NO}_3$ , гидроксильные ионы превращаются в перекись водорода, которая тут же распадается на  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{O}$ . Атомарный кислород энергично окисляет «пассивные» соли плодородного слоя.

Теоретически эффект Юткина можно обосновать следующим образом [2]. Создается относительно медленное накопление энергии конденсатора (от долей секунды до нескольких десятков секунд) и быстрый (около  $10^{-4}$  секунды, т.е. десятки микросекунд) сброс в гидросреду накопленной энергии и, как следствие, получение высоких мощностей (единицы и десятки мегаватт). Таким образом, регулируя амплитуду заряда конденсатора, легко управлять выделяемой в разряднике мощности.

Из курса физики известно, что

$$E_c = \frac{CU^2}{2}, P = \frac{E}{t},$$

где  $E_c$  – энергия, запасенная в конденсаторе, Дж;  $C$  – емкость конденсатора, фарад;  $U$  – напряжение, В;  $P$  – мощность разряда, ватт;  $t$  – время, с. Последняя формула объясняет, почему при малых промежутках времени получается высокая мощность разряда.

**Методика исследований.** Учитывая сложившуюся ситуацию в необходимости утилизации ЖБ опор и изучив методы разрушения, наш коллектив провел серию масштабных экспериментов по разрушению ЖБИ электрогидроимпульсным (ЭГИ) методом [3, 4] с целью оценки эффективности и практической применимости данного метода.

Как отмечалось выше, электроимпульсный способ разрушения диэлектрических и полупроводящих материалов используется для дробления и измельчения материалов, резания блочного камня, разрушения некондиционных железобетонных изделий и т.д.

Нами исследовались методы косвенного разрушения (элетроразряд производился между контактами специального разрядника вблизи ЖБИ) и разрушения через «тело» бетона (элетроразряд производился между арматурой бетона и электродом специальной формы). Сразу отметим, метод косвенного разрушения для данной задачи неприемлем из-за его низкой эффективности (кроме задач дезинтеграции, которые невозможно решить другими методами).

Предлагается способ утилизации ЖБИ, в котором одним электродом является арматура бетона. С помощью электроразряда в толще железобетонного изделия, погруженного в ванну с технической водой, формируются сквозные цилиндрические каналы. После заполнения каналов водой повторные электроразряды вызывают в тех же каналах взрывное повышение температуры и давления, что сопровождается генерацией цилиндрических ударных волн, нагружающих бетон с образованием радиальных трещин и отколом бетона под действием растягивающих напряжений, возникающих при отражении ударных волн от обнаженных поверхностей разрушаемого изделия. При электрическом разряде через микротрещины слоя бетона между арматурой и положительным электродом возникают силы. Данные силы генерируют ударные волны, нагружающие бетон с образованием радиальных и осевых трещин с отколом бетона под действием растягивающих напряжений, а также происходит отслаивание его от металлической арматуры. Описанная операция осуществляется без образования взрывной волны и разброса осколков, что является принципиальным фактором при производстве работ в местах с выделением пыли или вероятным появлением газа.

Этот метод совершенно безопасен для работающих вблизи людей и установленного оборудования, поэтому он может с успехом применяться не только на открытых площадках стройки, но также и внутри производственных помещений.

Состав использованного оборудования:

- рабочая ванна с водой для проведения экспериментов 4 х 0,8 х 0,8 м;
- генератор импульсных токов с максимальной энергией 0,8 КДж, частотой повторения 1 Гц и массой 150 кг;
- высоковольтный кабель с положительным электродом;
- заземляющая шина.

### Выводы

Проведенные эксперименты показали:

1. Применение установки с использованием электрогидравлического эффекта для разрушения железобетонных изделий позволяет:

- затраты на разрушение 1 куб. м ЖБИ составляют не более 5 кВт/час;
- в разы увеличить производительность труда (от 3 до 5 куб. м/час);
- резко уменьшить применение физического труда на указанных работах.

2. Извлечение арматурных каркасов и закладных элементов производится без их деформации.

3. Преимущество предлагаемой технологии перед механическими способами состоит еще и в том, что срок службы породоразрушающего инструмента на несколько порядков выше, разупрочнение металла и бетона происходит эффективней.

4. Вместе с тем при применении данной технологии требуется принять меры против отрицательных экологических факторов, вносимых при работе высоковольтных генераторов, входящих в состав устройств: волн звукового и радиодиапазонов, электрических полей высокой напряженности. Однако традиционные приемы (эффективное электрическое заземление, использование замкнутого вне земли рабочего контура для протекания импульсных токов, использование противозумных и радиозащитных экранов) приводят к локализации указанных факторов в области, непосредственно прилегающей к установкам, и сводят их к уровню, не превышающему требований стандартов.

### Литература

1. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л.: Машиностроение, 1986. – 252 с.
2. О применении электрогидродинамического эффекта в сельском хозяйстве / И.О. Егорушкин, Я.А. Кунгс, А.И. Орленко [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 1. – С. 143–146.
3. О применении эффекта Юткина в сельском хозяйстве / И.О. Егорушкин, А.И. Орленко, Н.В. Цугленок [и др.] // Проблемы развития АПК Саяно-Алтая: мат-лы науч. конф. – Абакан, 2013. – С. 300–302.
4. URL: [http://tesla.zabotavdome.ru/books/hydro\\_effect.djvu](http://tesla.zabotavdome.ru/books/hydro_effect.djvu).

