

## ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ: ПОСТАНОВОЧНЫЙ АСПЕКТ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Докт. техн. наук, проф. КОВАЛЕВ Я. Н.

Белорусский национальный технический университет

В современных условиях особую актуальность приобретает повторное применение старых асфальтобетонных покрытий при капитальных ремонтах автомобильных дорог. Известно, что вторичное применение ранее использованных асфальтобетонов (их регенерация) позволяет обеспечить высокое качество работ при сравнительно низкой стоимости и получить значительную экономию материальных ресурсов (в основном дефицитных битумов и щебня [1, 2]).

Однако существующие способы регенерации асфальтобетонного лома не обеспечивают получение из него качественных регенерированных смесей определенных составов и свойств. Причины: одни из них исходят из предпосылки однородности или осреднения состава и свойств асфальтобетонного лома, что не соответствует действительности; другие используют нагрев не только как финишную операцию в технологии, но и как средство декомпозиции асфальтобетонного лома на составляющие его минеральные частицы [3], что значительно усложняет процесс корректировки состава регенерированной смеси из-за ее вязкости (забиваются грохоты, дозаторы, практически не выделяется песчаная составляющая и т. п.).

Потенциальную возможность получения качественной регенерированной смеси любого вида и состава несет в себе разрядно-импульсная технология (РИТ) регенерации, основанная на холодном способе (без нагрева) разделения асфальтобетонного лома на составляющие его минеральные фракции с последующим отбором последних в требуемых соотношениях и окончательным нагревом подобранной смеси до требуемой температуры (рис. 1). Однако пути широкого внедрения такой технологии в настоящее время лишь едва очерчены из-за отсутствия эффективного способа холодной де-

композиции асфальтобетонного лома. Тем не менее перспектива в этом направлении намечена.

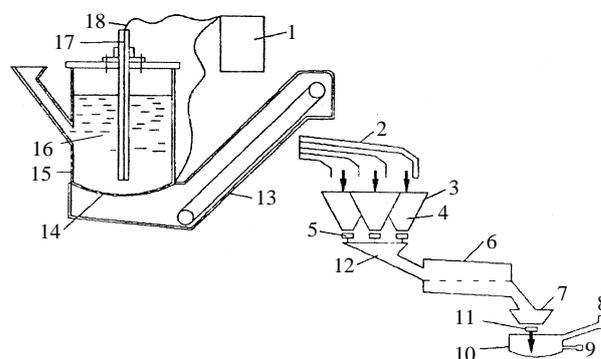


Рис. 1. Технологическая схема переработки старого асфальтобетона: 1 – генератор импульсных токов (ГИТ); 2 – грохот; 3 – бункер; 4 – отсек для частиц; 5 – дозатор; 6 – нагреватель (сушильный барабан); 7 – накопитель горячей минеральной смеси; 8 – дозатор вяжущих материалов; 9 – дозатор минерального порошка; 10 – смеситель; 11 – дозатор горячей минеральной смеси; 12 – загрузочная воронка; 13 – ковшовый элеватор; 14 – электрод-катод в виде сита; 15 – разрядная камера с рабочей жидкостью; 16 – рабочая жидкость (вода); 17 – электрод-анод; 18 – высоковольтные шлейфы для включения электродов в цепь ГИТ

Известно, что в различных отраслях народного хозяйства получил распространение новый способ дробления и обработки материалов – электрогидравлический, который использует в качестве средства воздействия на материал энергию высоковольтного электрического разряда [4–9].

**Теоретические предпосылки исследования.** В основу нового способа холодной переработки старого асфальтобетона, разработанного в БНТУ [10], положена следующая рабочая гипотеза.

При многократном мгновенном воздействии волн высокого давления, возбуждаемых в рабо-

чей жидкости (воде) импульсами электрического тока, силы и ускорения (действующие на отдельные частицы материала) ввиду значительной разности их масс и упругих свойств будут различными. Вследствие этого на межфазных контактах частиц асфальтобетона будут возникать значительные градиенты ускорения, что вызовет в этих местах большие напряжения растяжения и сдвига, которые приведут, прежде всего, к разрушению вяжущего, скрепляющего минеральные частицы, и в конечном итоге – к разделению асфальтобетона на составляющие его крупные и мелкие минеральные исходные компоненты: щебень различной крупности и песок. Принципиальное подтверждение этой гипотезы было получено в ходе предварительных испытаний (аспирант А. П. Одерихо). В 1985 г. в БНТУ были разработаны и переданы в УДМСиБ г. Минска рабочие чертежи промышленной установки по переработке старого асфальтобетона. При этом следовало соблюдать главный принцип: «не дробить ничего лишнего», т. е. мощность электрического разряда должна быть такой, чтобы исключалось дробление крупных каменных частиц (щебня, гравия), содержащихся в старом асфальтобетоне.

Характеристика пробоя, зависящая от электрической прочности рабочей жидкости, в значительной мере определяется ее электрическими параметрами: диэлектрической проницаемостью и удельной электропроводностью. В зависимости от целевого назначения РИТ подбирается рабочая жидкость с определенными характеристиками. Например, рабочей жидкостью для дробления щебня является обыкновенная водопроводная вода.

В воде носителями отрицательного заряда являются в основном электроны, концентрация которых достигает  $10^{10}-10^{12}$  см<sup>-3</sup>. Положительно заряженная частица – в основном ион Н<sup>+</sup>. С повышением температуры степень ионизации в воде монотонно возрастает.

Основным условием для реализации таких технологических обработок (с точки зрения экономики) является сведение к минимуму затрат энергии на стадии формирования разряда. В настоящее время имеется недостаточно данных, на основе которых можно было бы заранее оптимизировать РИТ для конкретно обрабатываемого материала. Поэтому, как отмечал один из рецензентов этого направления

проф. И. Н. Ахвердов [11], в каждом случае требуется проведение экспериментальных исследований и предварительный «прогон» режимов обработки на опытно-промышленных установках. Это одно из главных условий недопущения дискредитации РИТ как новой технологии обработки материалов.

**Экспериментальные исследования.** Для проведения исследований была разработана и изготовлена экспериментальная электрогидравлическая установка (рис. 2), состоящая из трех основных блоков: управления, сигнализации и блокировки, генератора импульсных токов и технологического блока, в котором непосредственно осуществлялась дезинтеграция проб асфальтобетонного лома. В качестве генератора импульсных токов был использован серийный ГИТ 50-5/4С с номинальной потребляемой мощностью 25 кВт, оснащенный четырьмя конденсаторами ИКГ-50-1 емкостью по 1,0 мкФ каждый. Для варьирования энергии разряда дополнительно имелось 10 конденсаторов емкостью по 0,1 мкФ и два конденсатора емкостью по 3,0 мкФ, что позволяло получать батареи конденсаторов с суммарной емкостью от 0,1 до 11,0 мкФ с минимальным шагом варьирования 0,1 мкФ.

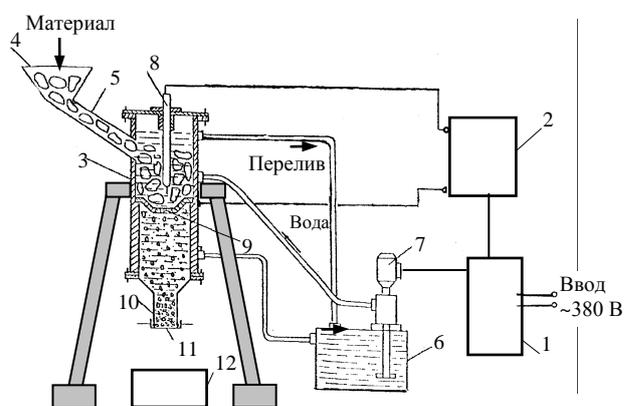


Рис. 2. Схема экспериментальной электрогидравлической установки для дезинтеграции асфальтобетонного лома: 1 – пульт управления; 2 – ГИТ; 3 – емкость для дробления кусков старого асфальтобетона; 4 – загрузочный бункер для кусков асфальтобетона; 5 – лоток; 6 – водяной бак; 7 – насос; 8 – высоковольтный электрод; 9 – сетка-анод; 10 – накопительная емкость для дезинтегрированных частиц старого асфальтобетона; 11 – заглушка; 12 – емкость для выгрузки дезинтегрированных частиц старого асфальтобетона

Конструкция генератора импульсных токов позволяла регулировать напряжение зарядки

конденсатора от 10 до 50 кВ. Частоту следования импульсов регулировали с помощью автотрансформатора, управляемого с пульта управления. Мощность, потребляемая генератором при различных режимах его работы, контролировалась на пульте управления.

Основными электрическими параметрами, используемыми в работе электрогидравлической установки, являлись: напряжение зарядки конденсаторов, кВ; индуктивность разрядного контура, Г; межэлектродный промежуток, мм; емкость конденсаторов, мкФ.

Согласно [12, 13], оптимальная величина напряжения для установок электрогидравлического разрушения минеральных материалов составляет 50 кВ. Эта величина напряжения была принята в данном исследовании.

Применительно к установкам для разрушения индуктивность отрицательно сказывается на эффективности процесса разрушения. Минимальная величина индуктивности ограничена требованиями компоновки генератора импульсных токов, необходимостью размещать генератор на некотором расстоянии от технологического узла и другими причинами. Минимальная величина, к которой удастся свести индуктивность в реальных промышленных установках, составляет  $(4-8) \cdot 10^{-6}$  Г.

Индуктивность экспериментальной электрогидравлической установки составляла  $6,8 \cdot 10^{-6}$  Г. Ориентировочно индуктивность в пределах  $(7-8) \cdot 10^{-6}$  Г следует ожидать и в опытно-промышленной установке.

В качестве рабочей жидкости в электрогидравлических установках чаще всего используют техническую воду. В рассматриваемом случае удельное электрическое сопротивление воды составляло 85–90 Ом·м. Длина межэлектродного промежутка  $l$  и емкость конденсаторов  $C$  варьировались с целью выбора оптимальной величины. Значение  $l$  изменяли от 10,0 до 100,0 мм, а  $C$  – от 0,3 до 4,0 мкФ.

Методика проведения экспериментальных исследований состояла в следующем. Вначале оптимизировали межэлектродный промежуток по удельной производительности разрушения. Для этого при определенном постоянном значении емкости рабочий межэлектродный про-

межуток изменяли в указанных выше пределах. В каждом опыте контролировали: количество разрядов  $n$  с помощью электромагнитного счетчика импульсов; потребляемую генератором мощность – по показаниям вольтметра и амперметра на пульте управления; вес разрушенного материала. Энергию в импульсе  $W$  определяли по формуле

$$W = \frac{CU^2}{2},$$

где  $C$  – емкость конденсаторов, мкФ;  $U$  – напряжение, кВ.

Величина удельной производительности разрушения кусков старого асфальтобетона определялась как отношение массы разрушенного материала к суммарной энергии обработки ( $Wn$ ).

Увеличение значения межэлектродного промежутка  $l$  при постоянной величине емкости конденсаторов  $C$  вели до достижения максимума удельной производительности. После этого опыт прекращали, увеличивали емкость  $C$  и опять начинали варьировать значением  $l$  до достижения максимума удельной производительности.

После проведения данного этапа исследований выбирались режимы, обеспечивающие наибольшую и ближайшие большие величины удельной производительности разрушения. Затем эти режимы проверялись на оптимальность по критерию максимума раскрытия кусков-конгломератов на составляющие их минеральные частицы. Степень раскрытия кусков контролировалась путем сравнения гранулометрических составов исходного и дробленого продуктов. В первую очередь отбраковывали режимы, приводящие к переизмельчению самих минеральных частиц и имеющие поэтому повышенную энергоемкость процесса разрушения. Из оставшихся режимов выбирали режимы, обеспечивающие разделение старого асфальтобетона на составляющие его минеральные частицы без заметного переизмельчения последних.

Результаты исследования оптимальных значений  $l$  и  $C$  приведены на рис. 3 и 4. Цифры в скобках в подрисуночном тексте на рис. 3 – это энергия в импульсе разряда для соответ-

вующего значения емкости  $C$  при напряжении  $U = 50$  кВ.

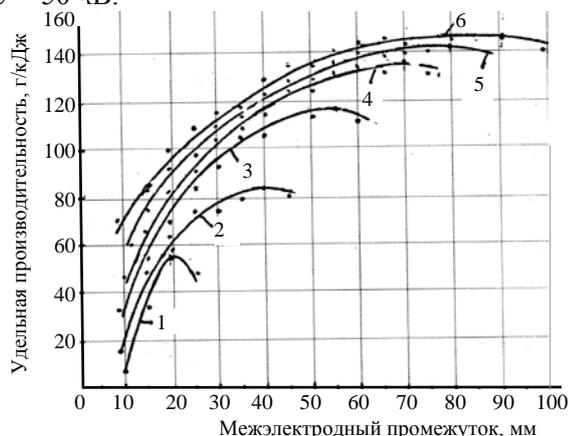


Рис. 3. Зависимость удельной производительности разрушения от межэлектродного промежутка для различных значений емкости: 1 — 0,3 мкФ (0,375 кДж); 2 — 0,6 (0,75); 3 — 1,0 (1,25); 4 — 2,0 (2,50); 5 — 3,0 (3,75); 6 — 4,0 мкФ (5,00 кДж)

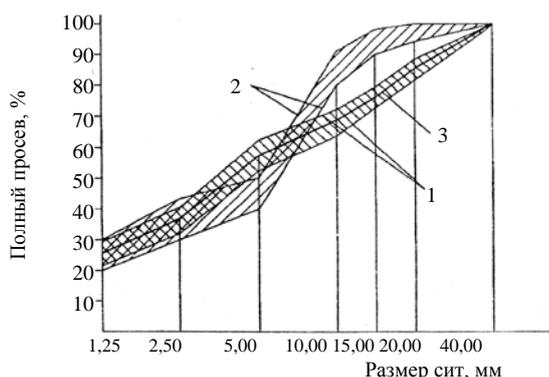


Рис. 4. Гранулометрические составы продуктов дробления при различных значениях энергии импульса: 1 — область грансоставов продуктов дробления в режимах 1,25–2,50 кДж; 2 — то же в режимах 3,75–5,00 кДж; 3 — грансостав исходного продукта

### ВЫВОДЫ

1. Анализ результатов исследований позволяет сделать следующие выводы:

- режимы обработки с энергией в импульсе до 1,25 кДж нецелесообразны из-за недостаточной мощности разряда, о чем свидетельствует соответствующая им низкая удельная производительность процесса разрушения кусков старого асфальтобетона (рис. 3);

- увеличение энергии в импульсе целесообразно до определенного ее значения. Увеличение энергии в импульсе свыше 2,5 кДж не дает существенного повышения удельной производительности разрушения (рис. 3) и приводит к значительному переизмельчению самих минеральных

материалов (в основном щебня), содержащихся в кусках-конгломератах (область 2 на рис. 4);

- оптимальными являются режимы обработки с энергией в импульсе 1,25–2,50 кДж ( $U = 50$  кВ,  $C = 1,25–2,50$  мкФ). При таких режимах достигнуто эффективное разделение кусков-конгломератов на составляющие их минеральные частицы (область 1 на рис. 4) при сохранении высокой производительности процесса дезинтеграции (рис. 3). Энергозатраты составляют 8 кВт·ч/т.

2. Выполненные исследования — один из вариантов применения электрогидравлического эффекта в строительном материаловедении. Потенциальный ресурс использования этого направления огромен: получение различных эмульсий, дробление железобетонных конструкций после демонтажа сооружений; уплотнение дисперсных материалов, формирование смесей из термодинамически несовместимых компонентов и др.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев, А. М. Регенерация асфальтобетона / А. М. Алиев. — Баку: Азернешр, 1985.
2. Кашевская, Е. В. Регенерация асфальтобетона. Монография. — Минск: Дизайн ПРО, 2003.
3. Гоглидзе, В. М. Использование материалов из старых асфальтобетонных покрытий / В. М. Гоглидзе // Автомобильные дороги. — 1982. — № 12. — С. 17.
4. Малюшевский, П. П. Основы разрядно-импульсной технологии / П. П. Малюшевский. — Киев: Навук. думка, 1983.
5. Юткин, Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л. А. Юткин. — Л.: Машиностроение, 1986.
6. Разрядно-импульсная технология обработки минеральных сред / Г. Н. Гаврилов [и др.]. — Киев: Навук. думка, 1979.
7. Рябинин, Л. Г. К вопросу разрушения прочных горных пород электрическим разрядом / Л. Г. Рябинин, Б. Д. Ветров, Г. Н. Гаврилов // Труды ВНИИ гражданского строительства. — 1977. — № 45. — С. 127–130.
8. Гезенцев, Л. Б. Характеристики продуктов электроимпульсного дробления / Л. Б. Гезенцев, В. Н. Сафронов, В. В. Лях // Теория, производство и применение ИСК. — Ташкент, 1985. — С. 86–87.
9. Сафронов, В. Н. Физико-химическая активация и обогащение заполнителей в процессе электроимпульсного разрушения / В. Н. Сафронов // Электроимпульсная технология и электромагнитные процессы в нагруженных твердых телах. — Томск, 1982. — С. 107–108.
10. Устройство для регенерации асфальтобетона: а. с. 1087604 СССР / Я. Н. Ковалев, А. П. Одерихо, А. А. Милькота [и др.] // Бюл. изобр. — 1984. — № 15.
11. Ковалев, Я. Н. Состояние и перспективы использования электронно-ионной технологии при производстве асфальтобетона / Я. Н. Ковалев. — Минск: БелНИИТИ, 1985.
12. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта / Г. А. Гулый [и др.]. — М.: Машиностроение, 1977.

## О ЗАГРЯЗНЕНИИ РЕК ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ МОСТОВ

*Канд. техн. наук ГУЛИЦКАЯ Л. В., инженеры КУЩ Н. Н., ШИМАНСКАЯ О. С.*

*Белорусский национальный технический университет*

Вода – незаменимое материальное условие жизни людей, основа всего живого на Земле. Во всем мире растет потребность в чистой пресной воде. На территории Республики Беларусь имеется большое количество рек, озер – и это наше стратегическое богатство. К сожалению, с развитием экономики повышается уровень загрязнения рек в результате хозяйственной деятельности человека. Это результат чрезмерно рационалистического подхода к природе и низкой экологической культуры людей.

Источниками загрязнения вод признаются объекты, с которых осуществляется сброс в водоемы вредных веществ, ухудшающих качество воды, ограничивающих ее использование, а также негативно влияющих на состояние дна и берегов. При строительстве и капитальном ремонте мостов нередко происходит загрязнение рек.

Основная цель проводимых авторами статьи исследований – определение источников загрязнения рек при строительстве и капитальном ремонте мостов, поиск причин, по которым это происходит. Для определения факторов, вызывающих загрязнение рек при строительстве и капитальном ремонте мостов, проводились натурные обследования как строительных площадок, так и эксплуатируемых мостов. Были использованы материалы технических отчетов по результатам обследования десятков мостов, выполненных научно-исследовательской лабораторией мостов и инженерных сооружений (НИЛ МИС) БНТУ в период с 1983 по 2009 г. На местах проведения строительно-монтажных работ фиксировались нарушения природоохранного законодательства, определялись источники загрязнения и виды загрязняющих веществ, пути их попадания в реки.

Как показывают проведенные исследования, основными загрязняющими компонентами при

строительстве и капитальном ремонте мостов являются:

- нефтепродукты в виде утечек горюче-смазочных материалов из строительных машин, механизмов и автомобилей;
- лакокрасочные материалы и другие химические вещества, применяемые при проведении строительных работ;
- продукты коррозии и остатки краски при пескоструйной обработке стальных пролетных строений;
- промывочные воды из емкостей автобетоносмесителей и автосамосвалов;
- строительный мусор;
- бытовые отходы, особенно пластиковая тара.

К числу наиболее вредных химических загрязнений относятся нефтепродукты. Образующаяся на поверхности воды нефтяная пленка нарушает физико-химические процессы в водоеме – повышается температура поверхностного слоя воды, ухудшается газообмен, погибает рыба, а осевшая на дно нефть еще долгое время вредит всему живому в водоеме.

Особо следует остановиться на крупногабаритном мусоре. Это, прежде всего, строительный мусор после возведения и ремонта мостов: остатки строительных материалов и конструкций.

Кроме того, рядом с мостовыми переходами в руслах рек и каналов нередко можно увидеть затопленные (или полузатопленные) строительные конструкции: балки и плиты пролетных строений, сваи, блоки насадок опор и т. д., оставшиеся после строительства или капитального ремонта мостов (рис. 1, 2). Также встречаются железобетонные и стальные трубы большого диаметра, оставшиеся от разобранных объездных путей или технологических