

ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ БИТУМОВ

ELECTROHYDRAULIC ACTIVATION OF BITUMEN



Я. Н. Ковалев,
доктор технических наук,
профессор Белорусского
национального технического
университета, г. Минск,
Беларусь

В статье рассмотрен процесс электрогидравлической обработки вязких дорожных битумов. Приведены результаты экспериментальных исследований, впервые показано, что такая обработка битума приводит к существенному изменению его группового состава и, как следствие, к изменению его физико-механических свойств.

The article considers the process of electrohydraulic treatment of viscous road bitumens. It presents the results of experimental investigations shows, for the first time, that such processing of bitumen causes the major modification of its group composition and, as a consequence, the change of its physical and mechanical properties.

Введение

Как показали наши исследования [1, 2], применение электрогидравлической обработки (ЭГ-обработки) является эффективным методом активации битумов. В сочетании с использованием поверхностно-активных веществ (ПАВ) и при дальнейшем совершенствовании конструкций специальных рабочих камер для обработки битумов этот метод имеет большие потенциальные возможности.

Обработка битумов (или сырья для их получения) электрическими разрядами, помимо практического интереса, представляет, несомненно, большой теоретический интерес, поскольку процессы изменения свойств этих вязущих при воздействии на них энергии импульсных электрических разрядов изучены пока недостаточно.

Глубокие теоретические и экспериментальные исследования разрядно-импульсной технологии (РИТ) обобщены в работе [3], где указано, что основным характерным признаком технологических процессов, в которых в качестве инструмента воздействия на вещество используется электрический разряд, является импульсность единичного акта процесса, а его причиной – разряд (независимо от того, в какой среде он осуществляется).

Следует отметить, что пока в дорожном строительстве РИТ не только не применяется, но и не проводятся какие-либо систематические, целенаправленные исследования в этой области.

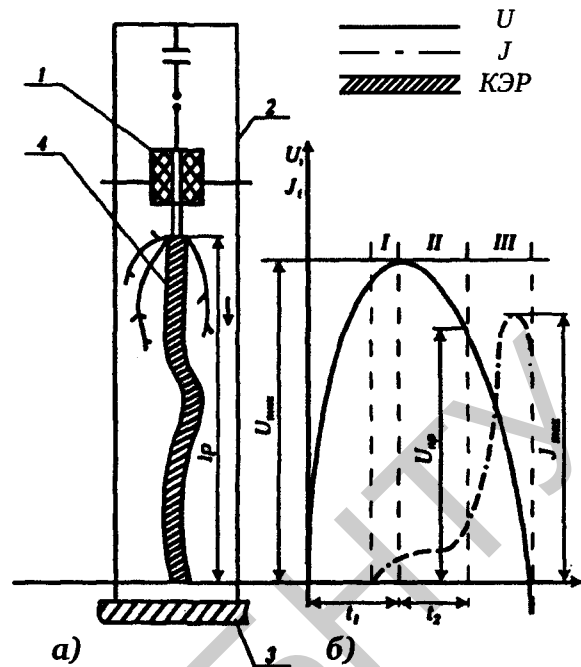
Экспериментально-теоретическое исследование

Несмотря на многовариантность, все аппаратное разнообразие РИТ имеет идентичную схему. Разрядный технологический блок необходим для преобразования электрической энергии в другие ее виды и передачи преобразованной энергии на обрабатываемый материал. Генератор импульсных токов трансформирует электрическую энергию в вид, наиболее пригодный для образования мощного электрического разряда в жидкости.

Основным узлом оборудования РИТ является электродная система, которая формирует мощный электрический разряд. Такой разряд является взрывом с очень быстрым выделением большого количества энергии, инициированным высоким электропотенциалом, образующимся между электродами, расположенными соосно. Наиболее широко на практике используют электрическое напряжение 10-17 кВ (для высоковязких систем – 50 кВ и более).

Мгновенно выделенная из конденсатора при электроразряде огромная энергия вызывает появление значительных механических сил, которые воздействуют на тело (материал), помещенное в зону межэлектродного пространства.

Сущность ЭГ-обработки заключается в следующем [3]. Разрядный технологический блок обычно представляет собой камеру, в которой соосно навстречу друг другу расположены два электрода, погруженных в рабочую жидкость. Если к электродам приложить напряжение, превышающее напряжение пробоя среды, произойдет пробой в межэлектродном промежутке (рис. 1). Однако до этого проходит некоторое время t_1 , в течение которого напряжение растет до максимального значения, а в разрядном промежутке появляется ток (стадия запаздывания I). После начала пробоя проходит еще некоторое время t_2 (стадия формирования разряда II), в течение которого ток растет, а напряжение падает ($U_{пр}$ – напряжение при пробое). Стадия II завершается образованием высокопроводящего канала электрического разряда (КЭР). За очень малый промежуток времени (10–100 мкс) в КЭР вводится энергия, накопленная в батареях конденсаторов. Температура плазмы КЭР поднимается до $(20-40) \cdot 10^3$ °С, а давление возрастает до 3-10 ГПа. Вследствие этого КЭР расширяется с большой скоростью по радиусам, исходящим примерно из центральной части разрядного промежутка l_p . При этом рабочей жидкости (или обрабатываемой среде, если она объект воздействия) в технологическом блоке передается высокое давление плазмы КЭР, вследствие чего жидкость сжимается. Обратная волна сжатая (от стенок камеры) вызывает эффект кавитации.



а) схема разряда
(1 – электрод-анод; 2 – внешний разрядный контур;
3 – электрод-катод; 4 – канал электрического
разряда (КЭР));
б) кривые изменения во времени тока (I)
и напряжения (U) в межэлектродном промежутке
Рисунок 1 – Импульсный электрический разряд
в жидкости

Таким образом, энергия плазмы КЭР в стадии III передается обрабатываемой среде и непосредственно вызывает ее изменение (если цель – изменение этой среды) или через эту среду – на другие объекты, требующие обработки (горные породы, жесткий пуансон для штамповки и др.).

Характеристика пробоя рабочей жидкости в значительной мере определяется ее электрическими параметрами: диэлектрической проницаемостью, удельной электрической проводимостью, пробивным напряжением, тангенсом угла диэлектрических потерь.

По данным Р. Б. Гуна [4], пробивное напряжение для различных марок битума составляет 10–60 кВ/мм ($1 \cdot 10^5$ – $6 \cdot 10^5$ В/м) при 20 °С. Большие значения соответствуют более вязким битумам. С ростом температуры пробивное напряжение снижается. Удельная электрическая проводимость битумов незначительна и при 50 °С составляет менее 10^{-2} См/м, с ростом температуры увеличивается до 0,3 См/м. Тангенс угла диэлектрических потерь при 20 °С для битумов составляет 0,013–0,021. Диэлектрическая проницаемость битумов при 80 °С – 2,9–3,2.

В качестве объекта исследования был взят вязкий битум БНД 40/60 Полоцкого НПЗ с груп-

повым составом: масла – 52,9 %, смолы – 37,6 % и асфальтены – 8,8 %. Методика эксперимента заключалась в следующем. В металлической камере производились электроразряды в битуме при 120 °С – 220 °С. Контроль температуры битума осуществлялся медьконстантовой термопарой. Удельная энергия разряда вычислялась по формуле

$$E = \frac{nCU^2}{2m}, \quad (1)$$

где n – количество разрядов;

C – емкость конденсатора, Ф;

U – напряжение, кВ;

m – масса обрабатываемого битума, кг.

Количество разрядов изменялось от 1 до 1000. Интенсивность ЭГ-обработки битума можно оперативно регулировать величиной выделенной энергии, изменяя количество разрядов.

Согласно [5] при электрическом разряде в жидкости энергия, накопленная в конденсаторе W_0 , расходуется на нагревание до плавления; плавление и частичное испарение эрозированного металла электродов (W_H); тепловые потери в подведенных проводах разрядного контура (W_T); испарение некоторого объема жидкости и нагревание паров до температуры газоразрядного облака ($W_{и}$); электромагнитное излучение ($W_э$); образование ударной волны и пульсации газового пузыря (W_y). При этом часть энергии остается после разряда в самом конденсаторе (W_K).

Исходя из этого, баланс энергии может быть записан

$$W_0 = W_H + W_T + W_{и} + W_э + W_y + W_K \quad (2)$$

Подсчет энергий W_H , W_T , $W_{и}$, $W_э$, W_K показывает [6], что их суммарная величина составляет незначительную часть энергии заряженного конденсатора, а основная доля энергии приходится на W_y . Это согласуется с теорией и практикой взрывных химических реакций, где на ударную волну и последующие пульсации газового пузыря приходится около 60 % электрической энергии взрыва [7].

Таким образом, искровой разряд в жидкости можно рассматривать как взрывной процесс со всеми вытекающими последствиями: образованием ударной волны, пульсациями газового пузыря и т. д.

Анализ процесса перемещения границы газового пузыря сводится к известной задаче гидродинамики для взрыва в несжимаемой жидкости, и в случае сферической симметрии основное уравнение гидродинамики может быть записано в следующем виде:

$$\frac{dv}{dt} + v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} = 0, \quad (3)$$

где v – скорость расширения газового пузыря;

t – время;

ρ – плотность жидкости;

P – давление в газовом пузыре;

x – бегущая координата перемещения границы газового пузыря.

Решение уравнения (3) в случае несжимаемости жидкости дает величину давления P на поверхности, которая непосредственно граничит с разрядом:

$$P = P_0 + \frac{\rho}{2} \left[3 \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 + 2R \left(\frac{d^2R}{dt^2} \right) \right], \quad (4)$$

где P_0 – атмосферное давление над свободной поверхностью жидкости;

$\frac{dR}{dt^2}$ – скорость границы движения газового пузыря;

R – радиус газового пузыря;

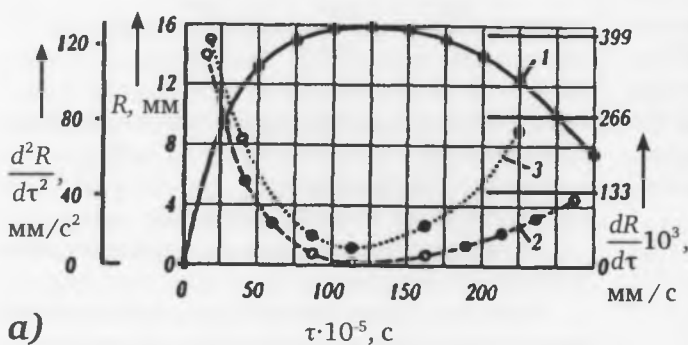
$\frac{d^2R}{dt^2}$ – ускорение границы движения газового пузыря.

Радиус, скорость и ускорение границы газового пузыря получены по данным кино съемки и для момента времени первого расширения пузыря показаны на рисунке 2. Это, соответственно, кривые 1, 2, 3. Кривая 4 рассчитана по формуле (4) и показывает изменение давления в газовом пузыре. Как видно из рисунка 2, давление в газовом пузыре составляет величину порядка 10^3 МПа, которое за время $2 \cdot 10^{-3}$ с падает до нормального.

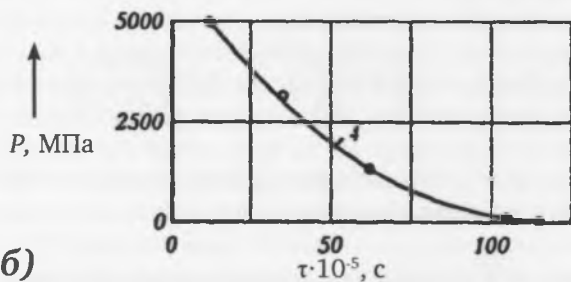
Температура в газовом пузыре нами не определялась, однако, по данным [3, 8], она составляет примерно $4 \cdot 10^4$ °С.

В таблице 1 приводятся данные по изменению группового состава битума в зависимости от напряжения на электродах и удельной мощности разряда при температуре 160 °С. Из таблицы следует, что при указанных параметрах U и E наибольшие изменения наблюдаются в содержании масел и несколько меньшие – асфальтенов и смол. Это, по-видимому, объясняется тем, что последние обладают более прочными химическими связями, чем масла.

Температура оказывает существенное влияние на эффект электрообработки битума (таблица 2), поскольку с ее увеличением уменьшается вязкость битума, а следовательно, соз-



а)



б)

а) зависимость радиуса, скорости и ускорения границы газового пузыря от времени (соответственно, кривые: 1 – $R = f(\tau)$; 2 – $dR/d\tau = f(\tau)$; 3 – $d^2R/d\tau^2 = f(\tau)$);
 б) зависимость давления в газовом пузыре от времени (кривая 4 – $P = f(\tau)$)

Рисунок 2 – Характеристика электроразряда в воде

даются лучшие условия для распространения ударной волны и расширения газового пузыря в канале электрического разряда. С увеличением температуры наиболее резкие изменения происходят с асфальтенами, содержание которых уменьшилось с 8,8 % (начальная величина) до 0,5 % (при 220 °С).

Изменение группового состава битумов влияет на их физико-механические свойства. Это было подтверждено путем измерения их растяжимости. Последняя определялась на стандартном дуктилометре и, как видно из таблицы 3, изменяется в широком диапазоне: например, от 17 см (при $E = 200$ Вт/г и $U = 240$ В) до 113 см при той же удельной электрической мощности, но при напряжении 120 В. Если учесть, что растяжимость исходного битума составляла 62 см, то в последнем случае она увеличилась в 1,8 раза.

Полученные результаты имеют существенное практическое значение, поскольку открывают принципиальную возможность эффективного регулирования свойств дорожных битумов методом РИТ на стадии их производства путем обработки исходного сырья. Основные особен-

Таблица 1 – Изменение компонентов вязкого битума в зависимости от напряжения на электродах и удельной энергии разряда при 160 °С

Напряжение на электродах U , В	Компоненты битума	Количество компонентов битума, %, после обработки разрядами при E , Вт/г				
		100	150	200	250	300
120	Масла	56,0	53,0	51,0	44,0	33,0
	Смоли	25,0	27,4	30,0	27,0	23,2
	Асфальтены	2,8	5,8	7,5	6,0	4,0
240	Масла	51,1	50,4	50,5	44,6	-
	Смоли	20,0	22,0	24,3	26,7	29,8
	Асфальтены	5,0	4,3	3,7	4,3	5,3
1000	Масла	55,0	53,0	51,0	47,0	42,0
	Смоли	29,0	29,5	29,8	35,0	40,0
	Асфальтены	5,4	4,3	3,3	4,1	5,2
3000	Масла	46,3	51,6	56,3	54,8	53,0
	Смоли	34,0	26,2	23,4	22,6	22,0
	Асфальтены	15,8	14,5	13,2	15,6	11,9

Таблица 2 – Изменение компонентов группового состава вязкого битума в зависимости от его температуры при $C = 300$ мкФ, $U = 240$ В, $E = 80$ Вт/г

Компоненты битума	Исходный битум	Содержание компонентов битума, %					
		при температуре обработки, °С					
		120	140	160	180	200	220
Масла	52,9	32,0	59,0	68,0	67,6	67,0	66,0
Смоли	37,6	27,0	24,0	21,5	23,0	24,0	25,0
Асфальтены	8,8	7,0	7,0	7,0	6,0	4,0	0,5

Таблица 3 – Изменение растяжимости вязкого битума в зависимости от удельной энергии разряда при 160 °С и разных напряжениях

E, Вт/г	Растяжимость, см			
	U, В			
	120	240	1000	2000
100	100	55	95	95
150	108	30	70	77
200	113	17	54	66
250	90	30	48	63
300	60	50	49	65

ности РИТ заключаются в создании высокой мгновенной мощности и высокой скорости распространения ударных волн, благодаря чему материал в рабочей камере подвергается одинаковым деформирующим усилиям во всем объеме одновременно.

Широкий спектр колебательных воздействий позволяет при соответствующем подборе параметров разряда использовать резонансные явления для возбуждения углеводородных цепей различных размеров и инициирования процессов перераспределения химических связей между ними.

Для оценки степени электрогидравлической активации битума необходим критерий этого процесса. Таким критерием, согласно [9], может служить показатель диэлектрической проницаемости битума, величина которой обусловлена полярностью молекул и поэтому косвенно отражает адгезионные свойства этого вязущего.

Практический интерес представляет вопрос сохранения активационного эффекта, проявляющегося после электрогидравлической обработки битума. Наши исследования показали [10], что активационный эффект сохраняется в течение 600–900 с после прекращения электрогидравлического воздействия.

Заключение

Впервые показано, что электрогидравлическая обработка битума ведет к существенному изменению его группового состава и, как следствие, к изменению его физико-механических свойств. Это открывает перспективы для разработки новых технологических схем получения битума с заданными свойствами, а также комплексных органических вяжущих веществ.

Список использованной литературы

1. Ковалев, Я. Н., Капельян, С. Н. Повышение качества битумов путем обработки их электрическими разрядами // Сборник научных трудов Белорусского политехнического института. Строительство. – Минск, 1967. – Вып. 1. – С. 98–100.
2. Ковалев, Я. Н., Капельян, С. Н., Маркевич, С. В. Изменение группового состава битумов под воздействием электрозарядов // Известия АН БССР. Сер.: Химические науки. – 1966. – № 4. – С. 79–84.
3. Малюшевский, П. П. Основы разрядно-импульсной технологии. – Киев : Наукова думка, 1983. – 270 с.
4. Гун, Р. Б. Нефтяные битумы. – М. : Химия, 1973. – 432 с.
5. Афанасьев, Н. В., Дашкевич, А. М., Шушкевич, А. К. К вопросу о величине коэффициента полезного действия электроэрозионного процесса // Сборник научных трудов Белорусского политехнического института. – 1958. – Вып. 60. – С. 73–81.
6. Золотых, Б. Н. О физической природе электроискровой обработки металлов // Труды центр. НИЛ электроискровой обработки материалов. – М. : Изд-во АН СССР. – 1957. – Вып. 1. – С. 38–69.
7. Суходрев, Н. К., Мендельштам, С. Л. О температуре паров электродов в искровом разряде // Оптика и спектроскопия. – 1959. – Т. VI. – Вып. 6. – С. 723–728.
8. Бескаравайный, Н. М., Поздеев, В. А. Теоретические основы измерения импульсных давлений в жидких средах. – Киев : Наукова думка, 1981. – 190 с.
9. Печеный, Б. Г. Исследование структуры битумов с помощью диэлектрических измерений // Труды СоюздорНИИ. – 1971. – Вып. 49. – С. 123–128.
10. Ковалев, Я. Н. Активационные технологии дорожных композиционных материалов. – Минск. : БелЭн, 2002. – 336 с.

Статья поступила в редакцию 13.09.2015.