

Тарасова Т.Ф., Чапалда Д.И., Абдрахимов Ю.Р.*

Оренбургский государственный университет

*Уфимский государственный нефтяной технический университет

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ В КАЧЕСТВЕ НЕФТЯНОГО СОРБЕНТА ПРИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВАХ НЕФТИ (на примере Оренбургской области)

В данной статье рассмотрена проблема ликвидации аварийных разливов нефти. Выбран адсорбционный способ, в качестве адсорбента предлагается использование крошки резиновой, полученной путем механической переработки скоростным методом изношенных автомобильных шин.

В последнее время в связи с резким ухудшением экологической обстановки на всей Земле решение проблем защиты растительного и животного мира от техногенного воздействия становится настоятельной необходимостью. Одним из наиболее опасных по своим последствиям видов чрезвычайных ситуаций являются аварийные разливы нефти и нефтепродуктов, причиняющие ущерб здоровью людей и окружающей природной среде, часто влекущие человеческие жертвы, а также значительные материальные и финансовые потери, нарушения условий жизнедеятельности людей, производственной деятельности предприятий. Немаловажной составляющей этой большой проблемы является ликвидация последствий разливов нефти в результате аварийных ситуаций различного масштаба и попадания нефти и нефтепродуктов в водную среду. Расчеты, выполненные в 1974 г., показали, что в начале 70-х годов в Мировой океан по различным причинам ежегодно поступало до 10...12 млн т нефти [1]. По оценке Национальной академии наук США в конце 70-х годов (по данным 1980 г.) ежегодно в Мировой океан и моря попадало около 3,2 млн т углеводородов нефтяного происхождения [2]. По данным ООН ежегодное поступление нефти в моря и океаны оценивается в 6...7 млн т [3] нефтепродуктов. Хотя приведенные цифры несколько отличаются по своим абсолютным значениям, все же потери углеводородного сырья являются величиной одного порядка и исчисляются миллионами тонн.

По характеру возникновения загрязнения подразделяют на естественные и антропогенные. Естественные загрязнения возникают в результате природных процессов, вне всякого влияния человека на эти процес-

сы, антропогенные – в результате хозяйственной деятельности человека. Естественные загрязнения обусловлены, например, просачиванием нефти на некоторых участках водного бассейна, за счет эрозионных процессов. Основную массу загрязнений (порядка 95%) поставляют источники антропогенного происхождения. Основными параметрами, определяющими величину ущерба, наносимого окружающей природной среде в результате аварий, является загрязнение нефтепродуктами компонентов природной среды, характеризующееся:

- площадью и степенью загрязнения земель;
- объемом нефтепродуктов, попавших в водные объекты;
- количеством загрязняющих веществ, выброшенных в атмосферный воздух.

Российская Федерация относится к числу крупнейших стран-производителей, осуществляющих добычу и переработку нефти (более 12% разведанных мировых запасов). Ожидается, что к 2010 г. в структуре топливно-энергетического баланса России (в пересчете на условное топливо) доля нефти возрастет с 10% до 12%. Регионы строительства новых магистральных и промысловых нефтегазопроводов характеризуются крайней уязвимостью окружающей природной среды. При этом, несмотря на проводимые мероприятия по повышению промышленной безопасности, проблема риска их эксплуатации имеет тенденцию к возрастанию.

В топливно-энергетическом комплексе Оренбургской области работает около 40 компаний, осуществляющих геологическое изучение и добычу углеводородов более чем на 80 объектах. Извлекаемые запасы нефти сосредоточены в 198 месторождениях и со-

ставляют 465,6 млн. тонн. По подсчетам специалистов, теоретическая обеспеченность области запасами нефти составляет 29 лет. В минувшем году на территории области добыто 17,2 млн. тонн нефти, что превышает уровень добычи позапрошлого года на 4,5%. Из общего объема добытой нефти на долю ОАО «Оренбургнефть» приходится 14,8 млн. тонн (85,8%), на ОАО «Оренбурггеология» – 1,05 млн. тонн (6,1%). На остальные предприятия, ведущие добычу нефти и пробную эксплуатацию скважин, приходится 8,1% от общего объема добычи нефти. Также добычу нефти ведут ООО «Оренбурггазпром» – 473,9 тыс. тонн, ООО «Геонефть» – 117,5 тыс. тонн, ЗАО «Преображенскнефть» – 103,6 тыс. тонн, ЗАО «Стимул» – 349,8 тыс. тонн. Остальные 17 нефтедобывающих организаций извлекают из недр от 2 до 70 тыс. тонн нефти в год.

Таким образом, в Оренбургской области достаточно много предприятий, где существует опасность разливов нефти, поэтому в данном регионе необходимо иметь эффективные нефтяные сорбенты для прекращения возможных разливов нефти.

Из всех известных способов и методов ликвидации загрязнений нефтепродуктами водной поверхности следует выделить четыре основных способа: механический, осуществляемый с помощью всевозможных конструкций и устройств для сбора нефти; физико-химический, основанный на использовании физико-химических явлений; биологический – с помощью микробиологических культур и фотохимический, проходящий под действием солнечного света и катализаторов. Основные методы ликвидации загрязнений с водной поверхности [4] могут быть систематизированы и сгруппированы по признакам действия.

Под действием воздуха, солнца и морской воды с нефтью происходят химические реакции в сочетании с процессами растворения, испарения, фотохимическими реакциями и микробиологической деградацией, которые и определяют три основных процесса поведения нефти в море – адвекция, растекание и выветривание [5].

Механические методы, в свою очередь, можно условно разделить на две группы – методы, удаляющие нефть с водной поверхности с возможной последующей ее утилизацией или

уничтожением, и методы, очищающие водную поверхность с переводом нефти на дно.

Проблема, возникающая при использовании методов первой группы, связана с тем, что обычно проводят две операции. Первая – распределение адсорбирующего материала по плавающей поверхности, вторая – удаление этого материала и последующее его сжигание или извлечение из него нефти.

При использовании методов, погружающих нефть на дно, применяют вещества, которые физически являются адсорбентами и абсорбентами. Известна многочисленная группа различных нейтральных порошков [6], состоящих из природных компонентов донных осадков, к которым прибавляются активированный кремнезем или естественный меловой порошок. Однако многочисленные эксперименты показали, что даже через несколько месяцев после затопления масса нефти остается еще подвижной и при волнении может подниматься на поверхность.

К наиболее простым методам борьбы с загрязнением водной поверхности нефтепродуктами относится способ локализации разлива с помощью плавучих боковых заграждений. В настоящее время отечественной и зарубежной промышленностью [7] для локализации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов выпускается свыше 200 разновидностей боновых заграждений. Такое многообразие нефтеудерживающих бонов вызвано различием технологических задач, решаемых с использованием данного оборудования, а также ландшафтными и климатическими условиями их применения.

Для очистки поверхности водоемов от загрязнения нефтью и нефтепродуктами разработан и выпускается промышленностью целый ряд нефтесборщиков, которые позволяют производить сбор нефтепродуктов с одновременным отделением их от водной фазы непосредственно в водоеме. Общим для всех нефтесборщиков является наличие в их конструкции нефтезаборного узла, насоса, привода и энергоузла, а также комплекта соединительных шлангов и других комплектующих. По конструктивным особенностям нефтезаборных узлов в составе всего многообразия выпускаемых нефтесборщиков можно выделить два основных класса данного оборудования: пассивные и активные.

Из физико-химических методов удаления нефтепродуктов выделяют сжигание, использование растворителей, детергентов, биологическое разложение. Первое официально запатентованное сжигание нефти произошло при аварии на канадском нефтепроводе на р. Маккензи в 1958 г. Первая попытка поджечь разлившуюся нефть на море произошла в 1967 г. [8].

Для очистки воды предлагают различные виды растворителей. Сущность способа удаления нефтепродуктов с помощью растворителей заключается в экстракции углеводородов из водной фазы, содержащей нефтепродукты. В качестве экстрагента может быть использован, например, бензин газоконденсатного производства [9].

К детергентам относят различные растворители и вещества, образующие эмульсию, которые химически воздействуют на молекулы углеводородных соединений и изменяют их поверхностное натяжение. Однако токсичность этих соединений для морских организмов часто выше, чем самой нефти, и широкое применение детергентов только усугубляет поражающее действие нефтяного загрязнения на гидробионты. Известны способы очистки поверхности воды от нефтяных загрязнений путем предотвращения и сокращения площади растекания.

Биологическое разложение как метод очистки от нефтезагрязнений используется редко, поскольку для биоразложения нефти необходимы длительное время и повышенная температура.

Наряду с бактериями важную роль в трансформации нефтяного загрязнения играют простейшие, например инфузории. Инфузории, используя бактерии в качестве питательной среды, разрушают пленку и способствуют лучшему контакту нефти с морской водой. Большое значение в процессе удаления из морской воды различных веществ имеют организмы-фильтраторы. В качестве таких организмов выступают двухстворчатые моллюски (мидии). После мидий нефть выходит в связанном виде с продуктами выделения, что в некоторой степени исключает вторичное загрязнение морской воды.

Таким образом, в процессе очистки водной фазы от нефтепродуктов важная, если не

первостепенная, роль отводится естественной биологической микрофлоре. Однако наиболее распространенным способом удаления нефтепродуктов с водной поверхности является сорбционный, предусматривающий использование нефтяных сорбентов.

При разработке материалов сорбентов необходимо учитывать следующие критерии [10]:

- эффективность сорбента;
- величину относительной сорбции, характеризующую отношение массы нефтепродукта, связанного сорбентом, к массе самого сорбента;
- коэффициент распределения, учитывающий степень распределения нефтепродукта между сорбентом и раствором;
- стоимость, доступность, сезонность и срок годности сырья, используемого при производстве сорбентов;
- возможность применения в качестве сырья вторичных материальных ресурсов отходов существующих «грязных» производств и превращения их в малоотходные с замкнутым циклом;
- экологическую чистоту при производстве сорбентов;
- технологичность операций, объем промысловых вод и затраты на их утилизацию;
- транспортные затраты на доставку сырья, материалов и сорбентов к месту их использования, зависящие от емкости сорбентов и возможности использования местного регионального сырья при производстве сорбентов;
- транспортные расходы на доставку использованных сорбентов к месту их утилизации или переработки;
- затраты на переработку, утилизацию, захоронение;
- экологическую безопасность процессов переработки использованных сорбентов.

Для производства нефтяных сорбентов используют огромное количество материалов, из которых в настоящее время уже созданы сотни различных товарных продуктов. Однако поток материалов, предлагаемых для производства сорбентов, все время нарастает, и для того чтобы разобраться во всем многообразии этих материалов и выбрать из них наиболее оптимальные для своей практической деятельности, необходимо уметь

пользоваться той или иной классификационной схемой сорбентов.

Все многообразие сорбентов можно разделить на две основные группы – адсорбенты и абсорбенты.

Классификация нефтяных сорбентов может быть осуществлена и по другим признакам, в частности по исходному сырью, по дисперсности, по пористой структуре, по характеру смачивания водой, по назначению, по специальным свойствам, по плавучести, по преимущественному способу утилизации, по структуре.

Поглотительная способность сорбентов зависит как от свойств непосредственно самого сорбента, так и от условий его применения. Максимальная поглотительная способность сорбентов проявляется при избыточном количестве поглощаемого нефтепродукта. На практике, в зависимости от площади водной поверхности, вязкости, поверхностного натяжения и количества разлитой нефти, толщина пленки будет различная в каждом конкретном случае. Поэтому поглотительная способность сорбентов будет непосредственно зависеть от толщины поглощаемого слоя нефти.

Использование материалов каучуков в качестве сорбентов находит все более широкое распространение ввиду многообразия их химического и структурного строения, а также их физико-химических свойств. В качестве сорбентов используют каучуки с полярными группами, например нитрилакриловой, метакриловой кислот и каучуки без полярных групп. Представителем каучуков без полярных групп является бутадиен-стирольный каучук (БСК), а представителем каучуков с полярными группами является бутадиен-нитрильный каучук (БНК).

Разработанная технология скоростного разрушения [11] обеспечивает получение резинового порошка с физическими параметрами, отличающимися его от аналогичных продуктов, производимых с использованием традиционных технологий. Частицы порошка имеют размеры менее 1 мм и высоко развитую поверхность, что позволяет продукту в более полной мере вступать во взаимодействие с другими компонентами и тем самым создавать композиции более высокого качества. Исходя из того, что в настоящее время

резиновая крошка все чаще находит свое применение в качестве нефтяного сорбента, решили использовать полученный резиновый порошок в качестве нефтяного сорбента. Для этого необходимо исследовать полученную крошку и определить основные сорбционные свойства.

Для эффективной сорбционной очистки водной поверхности от различных органических соединений и нефтепродуктов необходим постоянный контроль физико-механических, химических и физико-химических (сорбционных) характеристик вновь получаемых, используемых и регенерированных сорбентов [12].

При оценке эффективности сорбентов обычно руководствуются тремя критериями: нефтеемкостью, влагоемкостью и плавучестью. Оценка эффективности может быть определена согласно ТУ 214-10942238-03-95.

Для определения эффективности использования резинового порошка в качестве нефтяного сорбента, полученного методом скоростной переработки, нами были проведены следующие исследования характеристик.

Насыпная плотность. Для определения насыпной плотности (ρ_n) использовали стандартную методику. В результате проведения эксперимента при доверительной вероятности 0,95 и количестве повторных опытов 5 погрешность эксперимента не превышает 5%, получили следующие результаты, таблица 1.

Определение нефтеемкости сорбента

Для определения нефтеемкости использовали методику по ТУ 214-10942238-03-95. Сорбционную способность рассчитывали по формуле:

$$C = \frac{M_n}{M_{\text{СОРБ}}} - 100\%, \quad (1)$$

где M_n – масса нефти, поглощенная сорбентом; $M_{\text{СОРБ}}$ – масса сорбента.

В результате проведения эксперимента при доверительной вероятности 0,95 и количестве повторных опытов 3 погрешность эксперимента не превышает 5% (таблица 2 и 3). В экспериментах использовали нефть с плотностью $\rho = 810 \text{ кг/м}^3$ и $\rho = 829 \text{ кг/м}^3$ соответственно.

Результаты проведенных нами исследований показали, что наибольшей сорбцион-

Таблица 1. Насыпная плотность сорбента

Фракция резинового порошка, мм	Насыпная плотность, кг/м ³
0,1÷0,63	350
0,63÷1,0	360
1,0÷1,5	370
1,5÷2,5	390
2,5÷5,0	400

ной способностью обладает резиновая крошка фракцией 0,1-0,63 мм, 0,63-1,0 мм и 1,0-1,5 мм, нефтеемкость которой изменяется в интервале от 3,4 до 4,4 кг/кг в зависимости от времени контакта с нефтью. При контакте сорбента с нефтью в течение 10, 20, 30 и 40 минут нефтеемкость изменяется незначительно, так как система находится в динамическом равновесии. Динамическое равновесие системы наступает после 5 минут контакта сорбента с нефтепродуктами. Следовательно, 5 минут является оптимальным временем контакта.

Определение влагоемкости сорбента

Для определения влагоемкости сорбента использовали методику по ТУ 214-10942238-03-95. Влагоемкость определяли по формуле:

$$W = \frac{M_c - M}{M} 100\%, \quad (2)$$

где M_c , M – соответственно масса сырого и сухого сорбента, г.

В результате проведения эксперимента при доверительной вероятности 0,95 и количестве повторных опытов 5 погрешность эксперимента не превышает 10% (таблица 4).

Одним из требований, предъявляемых к сорбенту, является низкая влагоемкость. Поэтому нами исследована влагоудерживаю-

щая способность резиновой крошки, полученной методом скоростной обработки. Влагоемкость сорбента изменяется в интервале 9-11% для всех фракций исследуемой крошки и составляет $10 \pm 1\%$.

Определение плавучести сорбента

Для определения плавучести сорбента использовали методику по ТУ 214-10942238-03-95. При определении плавучести было установлено, что исследуемый сорбент остается на плаву более 96 часов, из чего можно сделать вывод, что сорбент обладает хорошей плавучестью и запаса плавучести хватит для завершения всех операций по очистке поверхности и сбору отработанного сорбента.

В результате проведенных исследований основных свойств сорбента получили следующие данные, таблица 5.

Наибольшей поглощающей способностью обладают фракции резиновой крошки размером от 0,63 до 2,5 мм. Применение мелкофракционной крошки, а именно менее 0,63 мм, приводит к образованию гелеобразной массы, что значительно затрудняет ее сбор с поверхности водоема. Кроме этого, мелкодисперсная крошка имеет очень маленькую массу, и даже при малом ветре при рассеивании ее сносит, что также затрудняет ее использование. Ввиду вышеперечисленных причин рекомендуемая фракция резиновой крошки, используемой в качестве сорбента, это фракция от 0,63 до 1,5 мм. В результате сорбции нефти сорбент агломерируется в крупные агломераты весом до нескольких килограммов, которые остаются на водной поверхности при любом ее состоянии в течение нескольких дней и легко собираются механически, не оставляя следов даже в виде тонких нефтяных пленок.

Таблица 2. Нефтеемкость сорбента при плотности нефти $\rho=810$ кг/м³

Время контакта с пленочной нефтью, мин.	Нефтеемкость кг/кг для размера фракций, мм				
	0,1÷0,63	0,63÷1,0	1,0÷1,5	1,5÷2,5	2,5÷5
1	3,2	3,2	2,6	2,0	1,4
5	3,8	3,8	3,4	2,2	1,5
10	4,2	4,2	3,6	2,9	2,4
20	4,3	4,3	3,8	3,0	2,7
30	4,4	4,3	3,9	3,1	2,8
40	4,4	4,3	3,9	3,1	2,9

Таблица 3. Нефтеемкость сорбента при плотности нефти $\rho=829 \text{ кг/м}^3$

Время контакта с пленочной нефтью, мин.	Нефтеемкость кг/кг для размера фракций, мм				
	0,1÷0,63	0,63÷1,0	1,0÷1,5	1,5÷2,5	2,5÷5
1	3,2	3,2	2,6	2,1	1,4
5	3,8	3,8	3,4	2,2	1,5
10	4,2	4,2	3,7	2,5	2,4
20	4,3	4,3	3,8	3,0	2,7
30	4,4	4,4	3,9	3,1	2,8
40	4,4	4,4	3,9	3,2	2,9

Таблица 4. Влагоемкость сорбента

Фракция сорбента, мм	Влагоемкость сорбента, %, в зависимости от толщины слоя				
	2 мм	5 мм	10 мм	20 мм	30 мм
0,1÷0,63	10	11	11	10	9
0,63÷1,0	11	10	10	9	9
1,0÷1,5	10	11	9	10	9
1,5÷2,5	10	10	10	9	9
2,5÷5,0	11	10	10	9	9

Резиновый порошок после сбора нефти может использоваться как наполнитель для дорожного покрытия. В мировой практике значительное количество резиновой крошки применяется в смесях, используемых при строительстве дорожных покрытий (резинобитумная смесь типа БИТРЕК). Доля массы резинового порошка в битумно-резиновых вяжущих в дорожных покрытиях может составлять до 10%. При этом существенно улучшаются физико-механические характеристики всего покрытия (повышенная трещиностойкость и модуль упругости, увеличивается на 20÷30% коэффициент морозоустойчивости), что сказывается положительно на ресурсе (срок службы покрытия дорог увеличивается в 1,5÷2 раза).

В настоящее время в России применяется и используется большое количество нефтяных сорбентов, используемых при аварийных разливах нефтепродуктов. Ниже приводятся сравнительные характеристики наиболее часто используемых нефтяных сорбентов. Результаты сравнительных характеристик приведены в таблице 7. Также для сравнения приводим результаты исследования резиновой крошки (предлагаемой в качестве нефтяного сорбента), выполненные в аналогичных условиях.

Как видно из таблицы 6, предлагаемый сорбент уступает по нефтеемкости некоторым применяемым на практике сорбентам, но по стоимости сорбента, затраченного на сбор одной тонны нефти, уступает лишь «Униполимеру». Налицо экономическая выгода при использовании сорбента на основе резиновой крошки. Данный сорбент можно рекомендовать к использованию как один из наиболее дешевых сорбентов. Себестоимость получения резиновой крошки намного ниже себестоимости многих известных сорбентов.

Таким образом, проведя исследования по определению основных сорбционных свойств резиновой крошки, можно сделать вывод о положительных полученных результатах использования продукта утилизации изношенных шин (резиновой крошки) в качестве нефтяного сорбента. Основным его преимуществом является более высокая сорбционная способность по отношению к сырой нефти по сравнению с другими известными сорбентами на основе резиновых порошков. Массовое соотношение поглощенной нефти или нефтепродуктов этим сорбентом составляет 4,5:1, тогда как у других известных сорбентов этот показатель не превосходит значения 3:1 [13]. Другим не менее важным преимуществом данного сорбента нефти является время достижения равновес-

Таблица 5. Основные технические характеристики нефтяного сорбента на основе резинового порошка

Показатели	Значение
Насыпная плотность	350±400 кг/м ³
Нефтеемкость, кг/кг	4...4,4
Время полного насыщения, мин.	5...10
Влагоемкость	10±1%
Плаваемость	Более 96 ч.
Утилизация	Отжим, в качестве компонента в резинобитумных и асфальтобетонных смесях

Таблица 6. Результаты сравнительных характеристик сорбентов

Наименование сорбента	Температура применения, °С	Характеристики сорбента		Количество сорбента для сбора 1 т нефти, кг/т	Стоимость сорбента для сбора 1 т нефти (соотношение цена / нефтеемкость), руб./ т
		насыпная плотность, кг/м ³	нефтеемкость, кг/кг		
Сибсорбент	-20...+40	100...300	2...4	213	14362
Лесорб-экстра	-5...+80	60	9...11	99	5050
Лесорб	-5...+80	60	9...11	115	5862
Сорбойл А	До-35	180...350	2...6,5	556	36885
Униполимер	-10...+40	12...35	30...50	33	993
Сорбент на основе резиновой крошки	-10...+50	350...400	4...4,4	223	1561

ного насыщения нефтью, которое составляет от 5 до 10 минут при спокойном состоянии водной поверхности. Насыпная плот-

ность составляет 350±400 кг/м³, влагоемкость 10±1%. Сорбент на основе резиновой крошки обладает плаваемостью более 96 часов.

Список использованной литературы:

- Самарский В.Н., Искандеров И.А. и др. Сбор нефти, разлившейся на водной поверхности / Самарский В.Н., Искандеров И.А. и др. // НТС, сер. Нефтепромысловое дело, 1974, вып. 10, с. 26-28.
- Terrel H. Oil in the sea; an international concern / H. Terrel // Ocean Ind. – 1987. – Vol. 22, №9. – P. 102-103.
- Инженерная экология и экологический менеджмент: учеб пособие / Буторина М.В., Воробьев П.В., Дмитриева А.П. [и др.]. – М.: Логос, 2003. – 528с.
- Арене В.Ж., Гридин О.М., Яншин А.Л. Нефтяные загрязнения: как решить проблему / Арене В.Ж., Гридин О.М. // Экология и промышленность России, №9, 1999.
- Овсиенко Е.С. Особенности загрязнения прибрежных акваторий Черного моря / Овсиенко Е.С. // НТЖ. Сер. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – М.: ВНИОЭНГ. – 2000. – Вып. 6-7. С. 5-7.
- Булатов А.И., Макаренко П.П., Шеметов В.Ю. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности / Булатов А.И., Макаренко П.П., Шеметов В.Ю. – М.: Недра, 1997. – 483 с.
- Маляров М.С. Оборудование для борьбы с загрязнением нефтью и нефтепродуктами / Маляров М.С. // Защита от коррозии и охрана окружающей среды. – 1995. – №11-12.
- Дэвид Е. Фритц. Ликвидация разливов нефти на суше путем сжигания (перевод Н. Чарыгина) / Дэвид Е. Фритц // Нефтегазовые технологии. – 1997. – №5.
- Авт. свид. №451640. Способ очистки сточных вод от нефтепродуктов. Бюлл. изобр. №44, 1974.
- Величко Б.А., Венсковский Н.У., Рудак Э.А. и др. Био- и фитосорбенты для очистки питьевой воды и промышленных стоков / Б.А. Величко, Н.У. Венсковский // Экология и промышленность России. – 1998. – №1.
- Заявка 2004107831 Российская федерация, В 29 В 17/00//В 29 К 21:00 Установка для измельчения изношенных покрышек / Клищенко В.П., Чапалда Д.И., Романцов В.Н. №2004107831/12; заявл. 16.03.2004.; опубл. 10.11.2005 Бюл. №31. – 3с.
- Шефе Г. Дисперсионный анализ. – М.: Наука. 1980. – 512с.
- Воробьева В.В. Технологии утилизации автотракторных шин / В.В. Воробьева // Автомобильная промышленность. – 2002. №3. – С. 26-27.

Статья рекомендована к публикации 26.03.07