

обеспечить навигационную независимость страны.

Авторы выражают благодарность Министерству образования и науки Республики Ирак, а также сотрудникам посольства Республики Ирак за оказанную помощь и поддержку.

Библиографический список

1. **Вариант** рационального состава и размещения радиомаяков VOR/DME в Республике Ирак для обеспечения зональной навигации / Е. В. Соболев, Ал-Рубой Мудар, Е. А. Рубцов // Изв. Петербург. ун-та путей сообщения. – 2014. – Вып. 2 (39). – С. 111–117.

2. **Организация** радиотехнического обеспечения полетов. Ч. 1. Основные эксплуатационные требования к авиационным комплексам навигации, посадки, связи и наблюдения: учеб. пособие / Е. В. Соболев. – Санкт-Петербург : СПбГУ ГА, 2007. – 120 с.

3. **Руководство** по требуемым навигационным характеристикам (RNP). ИКАО документ 9613 AN-937, 1999. – 68 р.

4. **Stellios, P.M.** Error distributions and accuracy measures in navigation: an overview. Geodesy and geomatics engineering UNB, technical report N 113/Dep. of Surveying Engineering Univ. of New Brunswick. – Canada, 1985. – 160 p.

5. **Руководство** по навигации, основанной на характеристиках (PBN). ИКАО документ 9613 AN/937, 3-е изд., 2008. – 264 с.

УДК 504:656.2

Т. С. Титова, Е. И. Макарова

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭКОЗАЩИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Проведена оценка качества технологий очистки загрязненных металлических поверхностей с использованием моющих средств, разработанных на кафедре «Инженерная химия и естествознание» в сравнении с известными моющими средствами, применяемыми в настоящее время на железнодорожном транспорте. Оценка производилась с помощью индексов PQ (property quality), поскольку в этом случае можно, используя определенные математические операции, проанализировать различные аспекты: экологические, технологические и эксплуатационные; полученные данные затем суммируются; чем выше значение индекса PQ, тем выше качество технологического решения.

экозащитная технология, качество технологии, очистка поверхностей, загрязнение, моющее средство, утилизация отработанных моющих растворов, защита окружающей среды, железнодорожный транспорт.

Введение

В процессе эксплуатации металлические детали подвижного состава неизбежно подвер-

гаются загрязнению, причины которого связаны, прежде всего, с налипанием дорожной

пыли и копоти, остатков перевозимого груза и продуктов износа ходовых частей подвижного состава, с коррозией металлов и т. п. Загрязнения представляют собой многокомпонентные образования, обладающие разнообразными физико-механическими, адгезионными свойствами и химическим составом.

Удаление производственных и эксплуатационных загрязнений на железнодорожном транспорте необходимо, так как является залогом не только экологической безопасности объекта, но и его долговечности. Ежегодно объемы работ по очистке поверхности от загрязнений составляет до 50 млрд м². В настоящее время для удаления загрязнений с поверхностей применяют механический, термический, электрический, химический, электрохимический и комбинированный способы очистки. Наиболее эффективен химический метод, при котором используются моющие композиции.

Ежегодно в Российской Федерации производится до 100 тыс. т технических моющих средств, после использования которых образуется до 10 млн м³ отработанных моющих растворов, содержащих нефтепродукты, ионы тяжелых металлов, поверхностно-активные вещества (ПАВ) и другие загрязнители. Выбор технологии очистки и моющего средства обусловлены различными факторами (степенью загрязненности поверхности, составом загрязнения), а также экологической и экономической эффективностью. Таким образом, перед использованием технологий очистки возникает необходимость их комплексной оценки, которая может базироваться на сравнении различных аспектов.

В данной работе в соответствии с методикой [1] были проанализированы качества технологий очистки металлических поверхностей с использованием моющих средств, разработанных на кафедре «Инженерная химия и естествознание» Петербургского государственного университета путей сообщения (ПГУПС) [2–6] под руководством д. т. н. профессора Л. Б. Сватовской, и технологий очист-

ки металлических поверхностей с использованием моющего средства ОБИС, применяемого на железнодорожном транспорте.

Отличительные особенности этих моющих средств (ГЕЛЕС-1, ГЕЛЕС-2, ПКФ): 1) новые моющие средства не содержат ПАВ, что принципиально для защиты окружающей среды; 2) не требуют нагрева, а значит, их применение позволяет экономить электроэнергию; 3) их отработанные моющие растворы можно использовать при производстве фосфатных строительных материалов, а не вывозить на полигон для захоронения. Сравнительный анализ целесообразно проводить по нескольким параметрам: экологическому, технологическому и эксплуатационному. Сущность методики заключается в присвоении технологиям значений индекса качества PQ в диапазоне от 0 до 1. При этом чем выше значение индекса PQ, тем выше качество разработанной технологии.

1 Выбор объектов исследования при оценке качества технологий очистки металлических поверхностей с использованием моющих средств

Новые технологии очистки загрязненных металлических поверхностей предлагается сравнивать с технологией, используемой в настоящее время на железнодорожном транспорте. В качестве n -го объекта исследования выбираем объекты:

- известная технология: очистки загрязненных металлических поверхностей с использованием моющего средства ОБИС ($n = 1$);
- новые технологии: очистки загрязненных металлических поверхностей с использованием моющего средства ГЕЛЕС-1 ($n = 2$); с использованием моющего средства ГЕЛЕС-2 ($n = 3$); с использованием моющего средства ПКФ ($n = 4$).

2 Выбор аспектов сравнения объектов исследования и определение значимости аспектов

Выбираем аспекты сравнения объектов исследования. Определяем значимость аспектов исходя из процентного отношения каждого аспекта к другим и к сумме аспектов в целом. При этом сумма значимостей аспектов должна составлять 100%.

В качестве j -го аспекта исследования выбирают экологический ($j = 1$), технологический ($j = 2$), эксплуатационный аспекты ($j = 3$).

Значимость аспектов исследования Z_j принимаем равной:

- $Z_1 = 70\%$ – для экологического;
- $Z_2 = 15\%$ – для технологического;
- $Z_3 = 15\%$ – для эксплуатационного.

3 Выбор перечня свойств, описывающих исследуемые объекты

Для каждого аспекта сравнения объектов исследования выбираем перечень описывающих его свойств. Определяем значимость свойств каждого аспекта исходя из процентного отношения свойств друг к другу и к сумме свойств в целом. При этом сумма значимостей свойств каждого аспекта должна составлять 100%.

В качестве k -го свойства ($j = 1$), описывающего исследуемые объекты в экологическом аспекте, выбраны:

- содержание растворенных нефтепродуктов в отработанном моющем растворе ($k = 1$);
- присутствие ПАВ в моющем средстве ($k = 2$).

Значимость k -го свойства ($j = 1$) в экологическом аспекте:

- $Z_{1,1} = 50\%$ – для содержания растворенных нефтепродуктов в отработанном моющем растворе;
- $Z_{1,2} = 50\%$ – для присутствия ПАВ.

В качестве k -го свойства в технологическом аспекте ($j = 2$) выбраны качество очистки, %; температура очистки, °С.

Значимость k -го свойства ($j = 2$) в технологическом аспекте:

- $Z_{2,1} = 50\%$ – для качества очистки;
- $Z_{2,2} = 50\%$ – для температуры очистки.

В качестве k -го свойства, описывающего исследуемые объекты в эксплуатационном аспекте ($j = 3$), выбраны:

- утилизация отработанного моющего раствора ($k = 1$);
- возможность очистки тяжелых фракций нефтепродуктов (мазута) при 20 °С ($k = 2$).

Значимость k -го свойства в эксплуатационном аспекте ($j = 3$):

- $Z_{3,1} = 50\%$ – для утилизации отработанного моющего раствора;
- $Z_{3,2} = 50\%$ – для очистки от мазута при 20 °С.

4 Определение индекса RQ_{jk}^n для каждого рассматриваемого свойства определенного аспекта для каждого объекта

Определяем индекс RQ для каждого свойства. Рассчитываем индекс RQ выбранных объектов исследования ($n = 1, 2, 3, 4$) для выбранных свойств каждого аспекта. Для каждого свойства находим интервал значений, лучшее значение для заданного интервала и разбиваем интервал на диапазоны (категории качества). Каждому диапазону присваиваем коэффициент падения качества (КПК). Для приведения свойства к диапазону от 0 до 1 необходимо задать интервал значений этого свойства для рассматриваемого аспекта, лучшее и худшее значения из заданного интервала и обосновать их. Далее лучшему значению присваивают нормированное значение 1, худшему – 0, а любому значению из интервала какое-то значение в открытом диапазоне от 0 до 1.

Например, для свойства «качество очистки» выбираем интервал значений от 100 до 0, считая, что 100%-ная очистка является наилучшим значением, 0% – наихудшее значение. Лучшему значению (100%) присваивают

значение 1, худшему (0%) – 0. Лучшее значение в данном случае совпадает с правой границей. Разбиваем заданный интервал между 0 и 100% на четыре равных диапазона для более объективного отражения падения качества. Считается, что качество повышается к правой границе диапазона.

Присваиваем коэффициентам падения качества в каждом диапазоне значения 1, 2, 3, 4, соответственно. В результате получаем диапазоны со следующими характеристиками:

- 1-й диапазон – 100–75% КПК₁ = 1;
- 2-й диапазон – 75–50% КПК₂ = 2;
- 3-й диапазон – 50–25% КПК₃ = 3;
- 4-й диапазон – 25–0% КПК₄ = 4.

Находим значения коэффициента нормирования интервала, коэффициенты нормирования каждого диапазона и индексы PQ правой границы диапазонов:

$$K_d = \sum \text{КПК}_i (D_{\text{прав.}i} - D_{\text{лев.}i})$$

$$K_d = 4 \cdot (25 - 0) + 3 \cdot (50 - 25) + 2 \cdot (75 - 50) + 1 \cdot (100 - 75) = 250$$

$$K_{1d} = \text{КПК}/K_d$$

$$K_{id} = 1/K_d = 1/250 = 0,004$$

$$PQ_{\text{лев.}id} = PQ_{\text{прав.}id} - (D_{\text{прав.}i} - D_{\text{лев.}i}) \cdot K_{id}$$

$$PQ_{1d} = 1 - (100 - 75) \cdot 0,004 = 0,9$$

$$K_{2d} = 2/K_d = 2/250 = 0,008$$

$$PQ_{2d} = 0,9 - (75 - 50) \cdot 0,008 = 0,7$$

$$K_{3d} = 3/K_d = 3/250 = 0,012$$

$$PQ_{3d} = 0,7 - (50 - 25) \cdot 0,012 = 0,4$$

$$K_{4d} = 4/K_d = 4/250 = 0,016$$

$$PQ_{4d} = 0,4 - (25 - 0) \cdot 0,016 = 0$$

По результатам расчетов строим график падения качества свойства технологического аспекта «качество очистки» (см. рисунок).

По графику получаем показатели индекса PQ_i свойства для каждого объекта технологического аспекта (табл. 1).

5 Расчет индекса PQ_{j,k}ⁿ по выбранным аспектам и итоговый индекс PQ для каждой технологии

Рассчитываем индекс PQ для каждого аспекта сравнения объектов исследования как сумму произведений значимости свойства аспектов Z на значение индекса PQ свойств этого аспекта:

$$PQ = \sum_k Z_k PQ_k^n$$

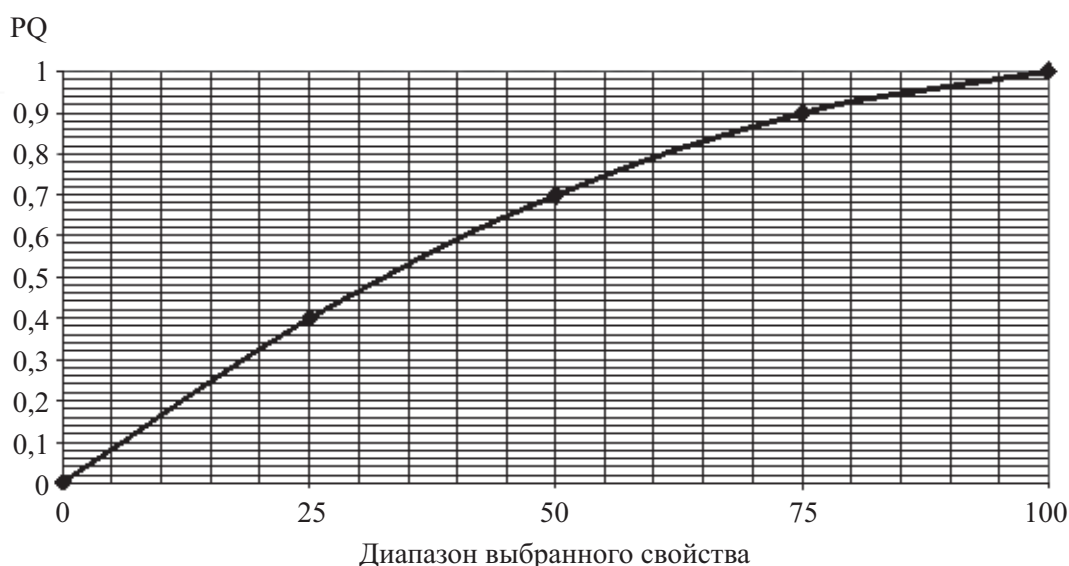


График падения качества технологии очистки загрязненных металлических поверхностей по технологическому аспекту, %

ТАБЛИЦА 1. Данные расчета индекса PQ для технологического аспекта

Объект исследования	Технологический аспект ($j = 2$)			
	Качество очистки $Z_{2,1} = 50\%$		Температура очистки $Z_{2,2} = 50\%$	
	Индекс PQ		Индекс PQ	
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ОБИС	$PQ_{2,1}^1$	0,72	$PQ_{2,2}^1$	0,8
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ГЕЛЕС-1	$PQ_{2,1}^2$	1	$PQ_{2,2}^2$	1
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ГЕЛЕС-2	$PQ_{2,1}^3$	1	$PQ_{2,2}^3$	1
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ПКФ	$PQ_{2,1}^4$	1	$PQ_{2,2}^4$	1

Аналогично определяем индексы PQ_{jk}^n для каждого из рассматриваемых свойств определенного аспекта для всех объектов (табл. 2, 3).

ТАБЛИЦА 2. Данные расчета индекса PQ для экологического аспекта

Объект исследования	Экологический аспект ($j = 1$)			
	Содержание растворенных нефтепродуктов в отработанном моющем растворе $Z_{1,1} = 50\%$		Присутствие поверхностно-активных веществ $Z_{1,2} = 50\%$	
	Индекс PQ		Индекс PQ	
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ОБИС	$PQ_{1,1}^1$	0	$PQ_{1,2}^1$	0
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ГЕЛЕС-1	$PQ_{1,1}^2$	0,48	$PQ_{1,2}^2$	1
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ГЕЛЕС-2	$PQ_{1,1}^3$	0,49	$PQ_{1,2}^3$	1
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ПКФ	$PQ_{1,1}^4$	0,5	$PQ_{1,2}^4$	1

Рассчитав индекс PQ_{jk}^n по различным объектам, получаем массив данных (табл. 4).

С учетом значимости аспектов суммируем данные и индекс PQ для каждой технологии:

$$PQ = \sum_i PQ_i^n.$$

Технология очистки с использованием моющего средства ОБИС:

$$PQ^1 = \sum_i PQ_i^1 = 0,7 \cdot 0 + 0,76 \cdot 0,15 + 0,28 \cdot 0,15 = 0,16.$$

ТАБЛИЦА 3. Данные расчета индекса PQ для эксплуатационного аспекта

Объект исследования	Эксплуатационный аспект ($j = 3$)			
	Утилизация отработанного моющего раствора $Z_{3,1} = 50\%$		Очистка от мазута при 20 °С $Z_{3,2} = 50\%$	
	Индекс PQ		Индекс PQ	
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ОБИС	$PQ_{3,1}^1$	0	$PQ_{3,2}^1$	0,56
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ГЕЛЕС-1	$PQ_{3,1}^2$	1	$PQ_{3,2}^2$	1
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ГЕЛЕС-2	$PQ_{3,1}^3$	1	$PQ_{3,2}^3$	1
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ПКФ	$PQ_{3,1}^4$	1	$PQ_{3,2}^4$	0,94

ТАБЛИЦА 4. Суммарные данные индекса PQ по выбранным аспектам

Объект исследования	Аспект		
	Экологический ($j = 1$)	Технологический ($j = 2$)	Эксплуатационный ($j = 3$)
	Расчет		
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ОБИС	$PQ_1^1 = \sum_{l,k} PQ_{l,k}^1 =$ $= 0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot 0 = 0$	$PQ_2^1 = \sum_{l,k} PQ_{l,k}^1 =$ $= 0,5 \cdot 0,72 +$ $+ 0,5 \cdot 0,8 = 0,76$	$PQ_3^1 = \sum_{l,k} PQ_{l,k}^1 =$ $= 0,5 \cdot 0 +$ $+ 0,5 \cdot 0,56 = 0,28$
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ГЕЛЕС-1	$PQ_1^2 = \sum_{l,k} PQ_{l,k}^2 =$ $= 0,5 \cdot 0,48 +$ $+ 0,5 \cdot 1 = 0,74$	$PQ_2^2 = \sum_{l,k} PQ_{l,k}^2 =$ $= 0,5 \cdot 1 + 0,5 \cdot 1 = 1$	$PQ_3^2 = \sum_{l,k} PQ_{l,k}^2 =$ $= 0,5 \cdot 1 + 0,5 \cdot 1 = 1$
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ГЕЛЕС-2	$PQ_1^3 = \sum_{l,k} PQ_{l,k}^3 =$ $= 0,5 \cdot 0,49 +$ $+ 0,5 \cdot 1 = 0,75$	$PQ_2^3 = \sum_{l,k} PQ_{l,k}^3 =$ $= 0,5 \cdot 1 + 0,5 \cdot 1 = 1$	$PQ_3^3 = \sum_{l,k} PQ_{l,k}^3 =$ $= 0,5 \cdot 1 + 0,5 \cdot 1 = 1$
Технология очистки металлических поверхностей с использованием моющего средства ПКФ	$PQ_1^4 = \sum_{l,k} PQ_{l,k}^4 =$ $= 0,5 \cdot 0,5 +$ $+ 0,5 \cdot 1 = 0,75$	$PQ_2^4 = \sum_{l,k} PQ_{l,k}^4 =$ $= 0,5 \cdot 1 + 0,5 \cdot 1 = 1$	$PQ_3^4 = \sum_{l,k} PQ_{l,k}^4 =$ $= 0,5 \cdot 1 +$ $+ 0,5 \cdot 0,94 = 0,97$

Технология очистки с использованием моющего средства ГЕЛЕС-1:

$$PQ^2 = \sum Z_1 PQ_1^2 = 0,7 \cdot 0,74 + 0,15 \cdot 1 + 0,15 \cdot 1 = 0,82.$$

Технология очистки с использованием моющего средства ГЕЛЕС-2:

$$PQ^3 = \sum Z_1 PQ_1^3 = 0,7 \cdot 0,745 + 0,15 \cdot 1 + 0,15 \cdot 1 = 0,82.$$

Технология очистки с использованием моющего средства ПКФ:

$$PQ^4 = \sum Z_1 PQ_1^4 = 0,7 \cdot 0,75 + 0,15 \cdot 1 + 0,15 \cdot 0,97 = 0,82.$$

Выводы

Оценено качество технологий очистки металлических поверхностей с использованием моющих средств, разработанных на кафедре «Инженерная химия и естествознание», в сравнении с технологией очистки металлических поверхностей с использованием моющих средств, применяемых на железнодорожном транспорте. По результатам расчетов установлено, что технология очистки загрязненных металлических поверхностей с использованием моющего средства ОБИС имеет минимальное значение индекса $PQ = 0,16$, технологии очистки загрязненных металлических поверхностей с использованием моющих средств ГЕЛЕС-1, ГЕЛЕС-2 и ПКФ имеют индексы $PQ = 0,82$. По экологическому аспекту технология очистки загрязненных металлических

поверхностей с использованием моющего средства ОБИС имеет $PQ = 0$, а технология с использованием моющих средств ГЕЛЕС-2 и ПКФ – $0,75$. Если учесть, что в данной методике значение индекса $PQ = 1$ считается лучшим значением, то полученный результат свидетельствует о более высоком качестве разработанных технологий и перспективности их использования.

Библиографический список

1. **Новые** экозащитные технологии на железнодорожном транспорте / Л. Б. Сватовская, А. М. Сычева, Е. И. Макарова и др. – Москва : УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2007. – 159 с.
2. **Пат.** № 2247770 Моющее средство для очистки металлической поверхности / Л. Б. Сватовская, Е. И. Макарова. Оpubл. 10.03.2005 г. Бюл. № 7.
3. **Пат.** № 2272070 Моющее средство для очистки емкостей и металлических поверхностей / Л. Б. Сватовская, Е. И. Макарова. Оpubл. 20.03.2006 г. Бюл. № 8.
4. **Пат.** № 2293110 Моющее средство для очистки емкостей и металлических поверхностей / Л. Б. Сватовская, Е. И. Макарова. Оpubл. 10.02.2007 г. Бюл. № 4.
5. **Использование** гелеобразования в геоэкологии для утилизации отходов и обезвреживания нефтезагрязнений транспорта / Л. Б. Сватовская, Е. И. Макарова и др. // Экология урбанизированных территорий. – 2008. – № 3. – С. 90–94.
6. **Естественно-научные** основы создания технологий защиты окружающей среды на транспорте / Е. И. Макарова, А. А. Кондрашов // Естественно-научные и технические науки. – 2011. – № 1 (51). – С. 55–58.