

*Л.Б. Сватовская, М.В. Шершнева, А.С. Сахарова,
М.М. Байдарашвили, Н.Н. Ефимова, И.В. Степанова*
(Петербургский государственный университет путей сообщения;
e-mail: scherschneva@rambler.ru)

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГЕОЭКОЗАЩИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Изложены принципы оценки качества различных геоэкозащитных технологических решений для железнодорожного транспорта. Приведены результаты расчёта индекса PQ для трёх геоэкозащитных технологических решений. Показаны и проанализированы индексы PQ новых геоэкозащитных решений по сравнению с известными технологиями.

Ключевые слова: геоэкозащитные технологии, оценка качества, метод PQ, ионы тяжёлых металлов.

*L.B. Svatovskaya, M.W. Shershneva, A.S. Saharova,
M.M. Baydarashvily, N.N. Efimova, I.V. Stepanova*

ESTIMATION OF QUALITY GEOECOPROTECTIVE TECHNOLOGICAL DECISIONS ON OBJECTS OF A RAILWAY TRANSPORTATION

The principles of an estimation of quality various geocoprotective technological decisions for a railway transportation are stated. Results of calculation of index PQ for three geocoprotective technological decisions are given. Indexes PQ new geocoprotective decisions are shown and analysed in comparison with known technologies.

Key words: geocoprotective technologies, an estimation of quality, method PQ, ions of heavy metals.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 15 февраля 2014 г.

В последнее время в связи с острой необходимостью создания природосохранных решений возникают новые предложения защиты окружающей среды, качество которых требует объективной оценки. К числу таких решений относятся и разработанные в Петербургском государственном университете на кафедре "Инженерная химия и естествознание" [1-3]:

- использование геомембраны для гидроизоляции земляного полотна с одновременной укладкой в тело земляного полотна под его бровкой минерального *геоантисептика (МГа)* в виде боя силикатного кирпича, имеющего свойства поглощать *ионы тяжёлых металлов (ИТМ)*;

- использование габионной конструкции, в которой в качестве загрузки частично используется МГа в виде клинкера;

- использование водоотводного лотка, в котором в качестве дренирующего материала используется МГа в виде отходов автоклавного пенобетона.

Рассчитанный предотвращенный экологический ущерб от внедрения новых технологических решений, предусмотренный стандартизированной методикой, не позволяет одновременно учитывать различные аспекты внедряемых технологических решений, такие как геоэкологический, технологический, эксплуатационный и др. Поэтому дополнительно была проведена оценка качества технологических решений *методом PQ (property quality)* [4], который позволяет провести сравнительную оценку.

При оценке методом *PQ* каждое новое технологическое решение сравнивается с известной технологией, применяемой в настоящее время на железнодорожном транспорте. Для оценки всех технологий были выбраны следующие аспекты сравнения: геоэкологический, технологический и эксплуатационный. Значимость геоэкологического аспекта принята равной 50 %, а значимость остальных аспектов – по 25 %.

В геоэкологическом аспекте рассматривались следующие свойства:

- наличие ИТМ в поверхностном стоке от железнодорожного полотна;
- наличие плёночных и растворенных нефтепродуктов в стоке железнодорожного полотна;
- возможность утилизации отходов;
- возможность освобождения полезных земель, занятых под размещение отходов.

Значимость всех свойств принята одинаковой – по 25 %.

В технологическом аспекте рассматривались такие свойства, как соответствие используемых материалов требованиям по физико-механическим характеристикам, фильтрующая способность материалов, необходимость проведения дополнительных операций. Значимость свойств была принята по 33 %, 33 % и 34 % соответственно.

В эксплуатационном аспекте рассматривались срок службы материалов, доступность материалов, стоимость материалов. Значимость свойств была принята по 33 %, 33 % и 34 % соответственно.

Метод предусматривает, что индекс *PQ* может находиться в диапазоне от 0 до 1, при этом, чем выше качество технологии, тем значение индекса больше.

После расчёта индекса *PQ* для первого технологического решения – **использования геомембраны и МГа в виде боя силикатного кирпича** по всем аспектам сравнения был получен массив данных, представленный в табл. 1.

**Индекс PQ при использовании геомембраны и МГа
в виде боя силикатного кирпича**

Объекты исследования	Индексы PQ	Обозначение
Геоэкологический аспект		
для свойства "наличие ИТМ в стоке от железнодорожного полотна"		
использование геомембраны и МГа в виде боя силикатного кирпича	0,8	$PQ^1_{1,1}$
известная технология использования геомембраны	0	$PQ^2_{1,1}$
для свойства "наличие нефтепродуктов в стоке от железнодорожного полотна"		
использование геомембраны и МГа в виде боя силикатного кирпича	0,25	$PQ^1_{1,2}$
известная технология использования геомембраны	0	$PQ^2_{1,2}$
для свойства "возможность утилизации отходов"		
использование геомембраны и МГа в виде боя силикатного кирпича	1	$PQ^1_{1,3}$
известная технология использования геомембраны	0	$PQ^2_{1,3}$
для свойства "возможность освобождения полезных земель, занятых под размещение отходов"		
использование геомембраны и МГа в виде боя силикатного кирпича	1	$PQ^1_{1,4}$
известная технология использования геомембраны	0	$PQ^2_{1,4}$
Технологический аспект		
для свойства "соответствие используемых материалов требованиям по физико-механическим характеристикам"		
использование геомембраны и МГа в виде боя силикатного кирпича	1	$PQ^1_{2,1}$
известная технология использования геомембраны	1	$PQ^2_{2,1}$
для свойства "фильтрующая способность материалов"		
использование геомембраны и МГа в виде боя силикатного кирпича	1	$PQ^1_{2,2}$
известная технология использования геомембраны	1	$PQ^2_{2,2}$
для свойства "необходимость проведения дополнительных операций"		
использование геомембраны и МГа в виде боя силикатного кирпича	0,665	$PQ^1_{2,3}$
известная технология использования геомембраны	1	$PQ^2_{2,3}$
Эксплуатационный аспект		
для свойства "срок службы материалов"		
использование геомембраны и МГа в виде боя силикатного кирпича	1	$PQ^1_{3,1}$
известная технология использования геомембраны	1	$PQ^2_{3,1}$
для свойства "доступность материалов"		
использование геомембраны и МГа в виде боя силикатного кирпича	0,35	$PQ^1_{3,2}$
известная технология использования геомембраны	0,9	$PQ^2_{3,2}$
для свойства "стоимость материалов"		
использование геомембраны и МГа в виде боя силикатного кирпича	0,5	$PQ^1_{3,3}$
известная технология использования геомембраны	0,21	$PQ^2_{3,3}$

Следующий этап расчёта включает определение индекса $PQ_{j,k}^n$ по различным объектам и свойствам.

По геэкологическому аспекту ($j = 1$) получаем следующие значения индекса PQ :

- при использовании геомембраны и МГа в виде боя силикатного кирпича

$$PQ_{11}^1 = \sum Z_{l,k} PQ_{l,k}^1 = 0,25 \cdot 0,8 + 0,25 \cdot 0,25 + 0,25 \cdot 1 + 0,25 \cdot 1 = 0,7625;$$

- при известной технологии использования геомембраны

$$PQ_{11}^2 = \sum Z_{l,k} PQ_{l,k}^2 = 0,25 \cdot 0 + 0,25 \cdot 0 + 0,25 \cdot 0 + 0,25 \cdot 0 = 0.$$

По технологическому аспекту ($j = 2$):

- при использовании геомембраны и МГа в виде боя силикатного кирпича

$$PQ_{21}^1 = \sum Z_{l,k} PQ_{l,k}^1 = 0,33 \cdot 1 + 0,33 \cdot 1 + 0,34 \cdot 0,665 = 0,8861;$$

- при известной технологии использования геомембраны

$$PQ_{21}^2 = \sum Z_{l,k} PQ_{l,k}^1 = 0,33 \cdot 1 + 0,33 \cdot 1 + 0,34 \cdot 1 = 1.$$

По эксплуатационному аспекту ($j = 3$):

- при использовании геомембраны и МГа в виде боя силикатного кирпича

$$PQ_{31}^1 = \sum Z_{l,k} PQ_{l,k}^1 = 0,33 \cdot 1 + 0,33 \cdot 0,35 + 0,34 \cdot 0,5 = 0,6155;$$

- при известной технологии использования геомембраны

$$PQ_{31}^2 = \sum Z_{l,k} PQ_{l,k}^1 = 0,33 \cdot 1 + 0,33 \cdot 0,9 + 0,34 \cdot 0,21 = 0,6984.$$

После расчёта индекса PQ для второго технологического решения использования клинкера в габионной конструкции был получен массив данных, представленный в табл. 2.

Далее был рассчитан индекс $PQ_{j,k}^n$ по различным объектам и свойствам.

По геэкологическому аспекту ($j = 1$) получаем следующие значения индекса PQ для каждой технологии:

- при использовании клинкера в габионной конструкции

$$PQ_{11}^1 = \sum Z_{l,k} PQ_{l,k}^1 = 0,25 \cdot 0,8 + 0,25 \cdot 1 + 0,25 \cdot 0 + 0,25 \cdot 0 = 0,45;$$

- при использовании габионной конструкции

$$PQ_{11}^2 = \sum Z_{l,k} PQ_{l,k}^2 = 0,25 \cdot 0 + 0,25 \cdot 0 + 0,25 \cdot 0 + 0,25 \cdot 0 = 0.$$

По технологическому аспекту ($j = 2$):

- при использовании клинкера в габионной конструкции

$$PQ_{21}^1 = \sum Z_{l,k} PQ_{l,k}^1 = 0,33 \cdot 1 + 0,33 \cdot 1 + 0,34 \cdot 0,665 = 0,8861;$$

- при использовании габионной конструкции

$$PQ_{21}^2 = \sum Z_{l,k} PQ_{l,k}^1 = 0,33 \cdot 1 + 0,33 \cdot 1 + 0,34 \cdot 1 = 1.$$

По эксплуатационному аспекту ($j = 3$):

- при использовании клинкера в габионной конструкции

$$PQ_{31}^1 = \sum Z_{l,k} PQ_{l,k}^1 = 0,33 \cdot 1 + 0,33 \cdot 0,5 + 0,34 \cdot 0 = 0,495;$$

- при использовании габионной конструкции

$$PQ_{31}^2 = \sum Z_{l,k} PQ_{l,k}^1 = 0,33 \cdot 1 + 0,33 \cdot 0,9 + 0,34 \cdot 0,95 = 0,95.$$

После расчёта индекса PQ для третьего технологического решения использования боя автоклавного пенобетона в водоотводном лотке был получен массив данных представленный в табл. 3.

**Индекс PQ при использовании геомембраны и МГа
в виде боя силикатного кирпича**

Объекты исследования	Индексы PQ	Обозначение
Геозкологический аспект		
<i>для свойства "наличие ИТМ в стоке от железнодорожного полотна"</i>		
использование клинкера в габионной конструкции	0,8	$PQ^1_{1,1}$
известная технология использования габионной конструкции	0	$PQ^2_{1,1}$
<i>для свойства "наличие нефтепродуктов в стоке от железнодорожного полотна"</i>		
использование клинкера в габионной конструкции	1	$PQ^1_{1,2}$
известная технология использования габионной конструкции	0	$PQ^2_{1,2}$
<i>для свойства "возможность утилизации отходов"</i>		
использование клинкера в габионной конструкции	0	$PQ^1_{1,3}$
известная технология использования габионной конструкции	0	$PQ^2_{1,3}$
<i>для свойства "возможность освобождения полезных земель, занятых под размещение отходов"</i>		
использование клинкера в габионной конструкции	0	$PQ^1_{1,4}$
известная технология использования габионной конструкции	0	$PQ^2_{1,4}$
Технологический аспект		
<i>для свойства "соответствие используемых материалов требованиям по физико-механическим характеристикам"</i>		
использование клинкера в габионной конструкции	1	$PQ^1_{2,1}$
известная технология использования габионной конструкции	1	$PQ^2_{2,1}$
<i>для свойства "фильтрующая способность материалов"</i>		
использование клинкера в габионной конструкции	1	$PQ^1_{2,2}$
известная технология использования габионной конструкции	1	$PQ^2_{2,2}$
<i>для свойства "необходимость проведения дополнительных операций"</i>		
использование клинкера в габионной конструкции	0,665	$PQ^1_{2,3}$
известная технология использования габионной конструкции	1	$PQ^2_{2,3}$
Эксплуатационный аспект		
<i>для свойства "срок службы материалов"</i>		
использование клинкера в габионной конструкции	1	$PQ^1_{3,1}$
известная технология использования габионной конструкции	1	$PQ^2_{3,1}$
<i>для свойства "доступность материалов"</i>		
использование клинкера в габионной конструкции	0,5	$PQ^1_{3,2}$
известная технология использования габионной конструкции	0,9	$PQ^2_{3,2}$
<i>для свойства "стоимость материалов"</i>		
использование клинкера в габионной конструкции	0	$PQ^1_{3,3}$
известная технология использования габионной конструкции	0,95	$PQ^2_{3,3}$

**Индекс PQ при использовании боя автоклавного пенобетона
в водоотводном лотке**

Объекты исследования	Индексы PQ	Обозначение
Геозкологический аспект		
для свойства "наличие ИТМ в стоке от железнодорожного полотна"		
использование боя автоклавного пенобетона в водоотводном лотке	0,95	$PQ^1_{1,1}$
использование водоотводного лотка	0	$PQ^2_{1,1}$
для свойства "наличие нефтепродуктов в стоке от железнодорожного полотна"		
использование боя автоклавного пенобетона в водоотводном лотке	0,25	$PQ^1_{1,2}$
использование водоотводного лотка	0	$PQ^2_{1,2}$
для свойства "возможность утилизации отходов"		
использование боя автоклавного пенобетона в водоотводном лотке	1	$PQ^1_{1,3}$
использование водоотводного лотка	0	$PQ^2_{1,3}$
для свойства "возможность освобождения полезных земель, занятых под размещение отходов"		
использование боя автоклавного пенобетона в водоотводном лотке	1	$PQ^1_{1,4}$
использование водоотводного лотка	0	$PQ^2_{1,4}$
Технологический аспект		
для свойства "соответствие используемых материалов требованиям по физико-механическим характеристикам"		
использование боя автоклавного пенобетона в водоотводном лотке	1	$PQ^1_{2,1}$
использование водоотводного лотка	1	$PQ^2_{2,1}$
для свойства "фильтрующая способность материалов"		
использование боя автоклавного пенобетона в водоотводном лотке	1	$PQ^1_{2,2}$
использование водоотводного лотка	1	$PQ^2_{2,2}$
для свойства "необходимость проведения дополнительных операций"		
использование боя автоклавного пенобетона в водоотводном лотке	1	$PQ^1_{2,3}$
использование водоотводного лотка	1	$PQ^2_{2,3}$
Эксплуатационный аспект		
для свойства "срок службы материалов"		
использование боя автоклавного пенобетона в водоотводном лотке	1	$PQ^1_{3,1}$
использование водоотводного лотка	1	$PQ^2_{3,1}$
для свойства "доступность материалов"		
использование боя автоклавного пенобетона в водоотводном лотке	0,15	$PQ^1_{3,2}$
использование водоотводного лотка	0,9	$PQ^2_{3,2}$
для свойства "стоимость материалов"		
использование боя автоклавного пенобетона в водоотводном лотке	0,93	$PQ^1_{3,3}$
использование водоотводного лотка	0,21	$PQ^2_{3,3}$

По геэкологическому аспекту ($j = 1$) получаем следующие значения индекса PQ для каждой технологии:

- при использовании боя автоклавного пенобетона в водоотводном лотке

$$PQ^1_1 = \sum Z_{l,k} PQ^1_{l,k} = 0,25 \cdot 0,95 + 0,25 \cdot 0,25 + 0,25 \cdot 1 + 0,25 \cdot 1 = 0,8;$$

- при использовании водоотводного лотка

$$PQ^2_1 = \sum Z_{l,k} PQ^2_{l,k} = 0,25 \cdot 0 + 0,25 \cdot 0 + 0,25 \cdot 0 + 0,25 \cdot 0 = 0.$$

По технологическому аспекту ($j = 2$):

- при использовании боя автоклавного пенобетона в водоотводном лотке

$$PQ^1_2 = \sum Z_{l,k} PQ^1_{l,k} = 0,33 \cdot 1 + 0,33 \cdot 1 + 0,34 \cdot 1 = 1;$$

- при использовании водоотводного лотка

$$PQ^2_2 = \sum Z_{l,k} PQ^2_{l,k} = 0,33 \cdot 1 + 0,33 \cdot 1 + 0,34 \cdot 1 = 1.$$

По эксплуатационному аспекту ($j = 3$):

- при использовании боя автоклавного пенобетона в водоотводном лотке

$$PQ^1_3 = \sum Z_{l,k} PQ^1_{l,k} = 0,33 \cdot 1 + 0,33 \cdot 0,15 + 0,34 \cdot 0,93 = 0,7025;$$

- при использовании водоотводного лотка

$$PQ^2_3 = \sum Z_{l,k} PQ^2_{l,k} = 0,33 \cdot 1 + 0,33 \cdot 0,9 + 0,34 \cdot 0,21 = 0,6984.$$

Далее был рассчитан индекс PQ^n для каждой технологии, результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчёта индекса PQ

Объекты исследования	Индексы PQ
Использование геомембраны и МГа в виде боя силикатного кирпича	0,7567
Известная технология использования геомембраны	0,4246
Использование клинкера в габионной конструкции	0,5703
Использование габионной конструкции	0,4875
Использование боя автоклавного пенобетона в водоотводном лотке	0,8256
Использование водоотводного лотка	0,4246

По данным таблицы видно, что индексы PQ по новым технологическим решениям превышают индексы PQ по традиционным технологиям, применяемым на железнодорожном транспорте. Оценка методом PQ с учётом геэкологического, технологического и эксплуатационного аспектов показала преимущество предлагаемых технологических решений, использование которых позволит минимизировать негативное воздействие на окружающую среду объектов железнодорожного транспорта.

Выводы

1. Оценено качество новых геэкозащитных строительных технологий с использованием метода PQ .

2. Показано, что в сравнении с известными, качество предложенных технологий более высокое, что соответствует более высокой степени защиты литосферы.

Литература

1. **Сватовская Л.Б., Байдараишвили М.М., Сахарова А.С., Петряев А.В.** Защита природно-техногенных систем при строительстве железных дорог // Транспортное строительство. 2012. № 2. С. 9-11.
2. **Сватовская Л.Б., Байдараишвили М.М., Сахарова А.С., Петряев А.В.** Новое технологическое решение для защиты окружающей среды в пределах полосы отвода железных дорог // Транспортное строительство. 2012. № 7. С. 12-13.
3. **Сватовская Л.Б., Байдараишвили М.М., Сахарова А.С., Петряев А.В.** Применение геомембран в экозащитных целях // Транспортное строительство. 2012. № 8. С. 12-13.
4. **Сватовская Л.Б. и др.** Новые экозащитные технологии на железнодорожном транспорте: монография. М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2007. 159 с.