DOI 10.15593/2409-5125/2015.01.02

УДК 628.47 + 628.542]: 519.22

Я.А. Жилинская

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА
ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ДЛЯ АНАЛИЗА ПРИЧИН
ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ
РАЗМЕЩЕНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ
И ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ
НА ИЗМЕНЕНИЯ В СВАЛОЧНОМ ТЕЛЕ**

Представлены результаты использования метода экспертных оценок для выявления условий, при которых возникает процесс горения твердых бытовых отходов (ТБО) на полигонах, а также изменений, которые происходят в свалочном теле в результате этого процесса. Сбор экспертной информации был проведен методом Делфи, который представляет собой ряд последовательно осуществляемых процедур. Процессы горения отходов являются неотъемлемой частью эксплуатации полигонов и свалок, а также играют немаловажную роль в процессе формирования свалочного грунта, поэтому их исследованию было уделено особое внимание.

Для получения информации о влиянии процессов горения ТБО на изменение состояния полигонов и свалок была разработана анкета первого тура, состоящая из 10 вопросов. В результате проведения первого тура сбора экспертной информации было опрошено 16 экспертов, во втором – 14. Анализ информации, полученной в результате экспертного опроса, осуществлялся с помощью таких методов, как парное сравнение, диаграмма Ишикавы, Парето-анализ, использовался также метод ранговой корреляции, позволяющий расположить анализируемые факторы в определенном порядке по степени значимости.

Метод ранговой корреляции, используемый для анализа факторов, вызывающих пожары на полигонах и свалках ТБО, подтвердил результаты, полученные методом парного сравнения, и позволил расположить исследуемые факторы в порядке значимости. Абсолютное совпадение результатов, полученных двумя различными методами, позволило сделать вывод об эффективности применения метода экспертных оценок в области исследований состояния полигонов и свалок ТБО.

Ключевые слова: экспертная оценка, метод Делфи, ранговая корреляция, полигон захоронения отходов, горение отходов на полигонах.

Основным способом обезвреживания отходов в России до сих пор остается их захоронение на полигонах и свалках. Складированные отходы подвергаются естественному разложению, сопровождающемуся рядом неблагоприятных последствий, таких как образование и бесконтрольное распространение биогаза и фильтрата, а также стихийные возгорания отходов, о которых достаточно регулярно появляется информация в СМИ.

На многих эксплуатируемых полигонах и свалках горение происходит круглый год в течение многих лет. Учет возгораний при этом носит несистематический характер. Пожаро- и взрывоопасность усиливается в местах возможного скопления биогаза или его увеличенного выхода в следующих зонах: трубопроводы и кабельные туннели; системы сбора воды, контрольные шахты и скважины; подполья зданий и сооружений; ямы, шахты, колодцы, глубокие траншеи; скважины и водомерные устройства для грунтовых вод.

Диагностировать состояние полигона, на котором протекают скрытые и открытые пожары, сложно. Информация, необходимая для управления неблагоприятными процессами и явлениями, связанными с эксплуатацией полигонов и свалок твердых бытовых отходов (ТБО), нередко может быть получена только путем проведения экспертного опроса по решаемой проблеме. Поэтому целесообразно использовать методы экспертных оценок для выявления условий, при которых возникает процесс горения ТБО, а также изменений, которые происходят в свалочном теле в результате этого процесса.

Применение метода экспертных оценок для решения какой-либо проблемы заключается в организации работы с экспертами (специалистами в данной сфере) и последующей обработке мнений экспертов, которые могут быть выражены как в количественной, так и в качественной форме.

После постановки цели экспертного опроса, как правило, создается рабочая группа, в задачи которой входит формирование подробного сценария проведения сбора и анализа экспертных мнений (выделение этапов проведения исследования, разработка опросных листов и шкал оценки информации), подбор компетентных специалистов-экспертов, создание экспертной комиссии,

сбор и анализ информации, полученной в ходе одного или нескольких туров экспертных опросов, интерпретация полученных результатов и подготовка заключения для принятия решения.

После рассмотрения существующих способов получения экспертной информации, а также изучения теории применения метода экспертных оценок для сбора экспертных суждений о влиянии процессов горения ТБО на изменение состояния полигонов и свалок был выбран метод Делфи, который можно считать одним из наиболее перспективных методов формирования групповой оценки экспертов. Метод Делфи представляет собой ряд последовательно осуществляемых процедур, направленных на формирование группового мнения по проблемам, по которым имеется недостаток информации. Процедуры, используемые в методе Делфи, характеризуются тремя основными чертами: анонимностью, регулируемой обратной связью и групповым ответом. Введение обратной связи вносит элемент объективности и делает оценки более надежными. Статистические методы определения группового ответа позволяют уменьшить статистический разброс индивидуальных оценок и получить групповой ответ, в котором правильно отражено мнение каждого эксперта [1].

При проведении экспертного опроса необходимо уделять особое внимание выбору шкалы и методам измерения, позволяющим формализовать информацию, не поддающуюся количественному измерению, поскольку ответы экспертов во многих процедурах экспертного опроса являются объектами нечисловой природы. В зависимости от того, по какой шкале идет измерение, экспертные оценки содержат больший или меньший объем информации и обладают различной способностью к математической формализации [2].

Исследование причин возникновения пожаров на объектах размещения отходов и влияния процессов горения на изменения в свалочном теле методом экспертной оценки проводилось под руководством д-ра техн. наук, профессора кафедры архитектуры и урбанистики С.В. Максимовой. Сбор экспертной информации осуществлялся в два последовательных этапа, для каждого из которых были разработаны опросные листы. В первом туре в опросе участвовали 16 экспертов, во втором – 14.

Анализ полученной информации показал, что основными причинами возгорания ТБО являются: нарушение технологии складирования ТБО – *Г*, экзотермические реакции, возникающие в процессе разложения ТБО – *В*, морфологический состав ТБО – *А*, неосторожное обращение с огнем в условиях выделения горючего биогаза – *Д* (рис. 1). Основными последствиями, возникающими в теле полигона в результате пожаров, эксперты считают пустотообразование – *А*, минерализацию свалочной толщи – *Д*, провалы – *В* (рис. 2). Большинство (11 из 14) экспертов считают, что при соблюдении технологии складирования отходов горение ТБО исключается. К мероприятиям, позволяющим предотвратить возникновения пожаров, эксперты относят, главным образом, соблюдение технологического режима складирования отходов, а также уплотнение отходов и их предварительную сортировку.

Рис. 1. Причины возгорания ТБО, складированных на полигоне: *А* – морфологический состав ТБО; *Б* – избыточное уплотнение отходов; *В* – экзотермические реакции, возникающие в процессе разложения ТБО; *Г* – нарушение технологии складирования отходов; *Д* – неосторожное обращение с огнем в условиях выделения горючего биогаза; *Е* – поджог отходов как способ регулирования их количества; *Ж* – отсутствие предварительной промышленной подготовки ТБО перед их захоронением

Полученная экспертная информация позволила перейти ко второму туру опроса экспертов с целью уменьшения статистического разброса индивидуальных оценок и получения группового ответа, в котором правильно отражено мнение каждого эксперта.

Информация, собранная в ходе проведения второго тура экспертного опроса, была использована для анализа экспертных суждений по некоторым отдельным вопросам с помощью математико-статистических методов.

Рис. 2. Изменения, возникающие в теле полигона в результате пожара: *А* – пустотообразования; *Б* – оползни; *В* – провалы; *Г* – осыпания; *Д* – минерализация свалочной толщи, озоление; *Е* – отсутствие гуминовой фазы; *Ж* – нарушение работы дренажных устройств и экранов; *З* – снижение газоносной способности полигона; *И* – уменьшение БПК фильтрата и повышение его минерализации, снижение эффективности биологической очистки; *К* – спекание массы отходов

Особое внимание было уделено рассмотрению факторов, вызывающих пожары на полигонах и свалках ТБО, так как выявление и устранение причин какого-либо неблагоприятного воздействия намного эффективнее, чем борьба с его последствиями.

При ранжировании факторов методом парного сравнения эксперты обычно расходятся во мнениях по решаемой проблеме. В связи с этим возникает необходимость анализа указанных факторов методом ранговой корреляции, который позволяет оценить согласованность мнений экспертов. Метод заключается в присвоении каждому фактору ранга, соответствующего степени влияния данного фактора на изучаемую проблему. Для этого был составлен специальный опросный лист, с помощью которого было опрошено 5 экспертов. Экспертам было предложено присвоить ранги пятнадцати факторам, указанным нами в опросном листе. В результате мы получили матрицы нормализованных рангов (таблица).

Матрицы нормализованных рангов

Факторы, вызывающие пожары на полигонах ТБО	Номер эксперта					$P_j = \sum_{i=1}^n R_{ij}$
	1	2	3	4	5	
Халатность	8	8	12	3	7	38
Невнимательность	8	8	12	3	10	41
Нарушение техники безопасности	7	8	7	2	8	32
Нарушение окончательного покрытия	6	4	9	2	5	26
Несоответствие технологического оборудования	7	3	10	2	9	31
Неисправность технологического оборудования	7	4	11	4	9	35
Высокое содержание органики в отходах	5	5	2	3	6	21
Экзотермические реакции, протекающие в процессе разложения отходов	2	5	1	3	6	17
Атмосферные условия	4	7	6	5	9	31
Нарушение технологии уплотнения	2	2	4	1	3	12
Отсутствие системы мониторинга на полигоне	5	6	4	4	6	25
Отсутствие системы дегазации полигона	3	2	3	2	1	11
Отсутствие ежедневной засыпки	3	1	3	1	1	9
Экскавация в процессе эксплуатации полигона	6	1	8	6	2	23
Поджог отходов как способ регулирования их количества	1	1	5	4	5	16

Количество экспертов, необходимое для проведения исследования, определялось по формуле

$$n = \frac{c\bar{a}_n - b}{\bar{a}_n(1 - c)}, \quad (1)$$

где $\bar{a}_n$ – среднеарифметическая оценка; b – оценка дополнительного эксперта; $\bar{a}_{n+1}$ – среднеарифметическая оценка с дополнительным экспертом;

$$c = \frac{\bar{a}_{n+1}}{\bar{a}_n}; \quad b = \bar{a}_n + \Delta_{\max},$$

где $\Delta_{\max}$ – отклонение оценки эксперта от среднеарифметической оценки.

Для каждого из оцениваемых факторов значение n не превысило 5, что показало отсутствие необходимости привлекать к исследованию дополнительных экспертов.

Степень согласованности экспертов (теснота ранговой корреляции) оценивалась коэффициентом конкордации W [3]:

$$W = \frac{S}{S_{\max}} = \frac{\sum_{j=1}^n (P_j - P_{\text{ср}})^2}{\frac{1}{12} m^2 (n^3 - n) - m \sum_{i=1}^m T_i'}, \quad (2)$$

где S – сумма квадратов фактических отклонений величин P_j от $P_{\text{ср}} = \frac{1}{2} m(n+1)$ ($P_{\text{ср}}$ – среднее значение P_j по всем n факторам); $S_{\max}$ – максимально возможное значение, которое эта сумма принимает при полном совпадении мнений;

$$T_i' = \frac{1}{12} \sum_{k=1}^{H_i} (k^3 - k),$$

где H_i – количество связей (групп равных рангов) в ранжировке, составленной i -м экспертом; k – число членов в связи.

При полностью совпадающих мнениях экспертов $W = 1$. В нашем случае коэффициент конкордации, подсчитанный по формуле (2), равен 0,732, т.е. менее 1. В связи с этим необходимо произвести оценку гипотезы о согласованности мнений экспертов с помощью критерия χ^2 , который рассчитывается по формуле

$$\chi^2 = W m(n-1). \quad (3)$$

Задаваясь 0,1%-м уровнем значимости, по таблице χ^2 - распределения находим критическую величину $\chi_{\text{кр}}^2$ для соответствующей степени свободы $\nu = n - 1$. Получаем $\chi_{\text{кр}}^2 = 36,12$ [4].

Рассчитанная нами по формуле (3) величина $\chi^2 = 51,24$ больше $\chi_{\text{кр}}^2$, поэтому согласованность мнений экспертов можно считать существенной.

Использование метода ранговой корреляции позволило определить меру влияния каждого из изучаемых факторов на возникновение пожаров на полигонах захоронения ТБО. Основными факторами, вызывающими горение отходов на полигонах, являются (в порядке значимости): А – отсутствие ежедневной засып-

ки; *Б* – отсутствие системы дегазации полигона; *В* – нарушение технологии уплотнения; *Г* – поджог отходов как способ регулирования их количества; *Д* – экзотермические реакции, протекающие в процессе разложения отходов. Меньшее влияние оказывают: *Е* – высокое содержание органики в отходах; *Ж* – экскавация в процессе эксплуатации полигона; *З* – отсутствие системы мониторинга на полигоне; *И* – нарушение окончательного покрытия; *К* – несоответствие технологического оборудования; *Л* – атмосферные условия; *М* – нарушение техники безопасности; *Н* – неисправность технологического оборудования; *О* – халатность; *П* – невнимательность (рис. 3).

Рис. 3. Влияние факторов на возникновение пожаров на полигонах

В результате анализа факторов, вызывающих пожары на полигонах и свалках ТБО, была установлена существенная согласованность мнений экспертов. Абсолютное совпадение результатов, полученных двумя различными методами, позволяет сделать вывод об эффективности применения метода экспертных оценок в области исследований состояния полигонов и свалок ТБО. Однако, несмотря на преимущества метода Делфи, экологические задачи не позволяют использовать его в чистом виде, так как информация, интересующая специалистов-экологов, не может быть оценена параметрами, рекомендуемыми данным методом. Поэтому для решения задач, связанных с захоронением ТБО, целесообразно использовать только суть метода Делфи, модифицируя метод под конкретную исследуемую проблему.

Библиографический список

1. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.

2. Общие положения теории измерений [Электронный ресурс]. – URL: http://progcpp.narod.ru/plan/teor_izm.htm (дата обращения: 15.01.2015).

3. Недовиченко А.А. Экспертная оценка факторов, влияющих на электробезопасность обслуживания электроустановок автомобильных тоннелей // Известия Академии промышленной экологии. – 2002. – № 2. – С. 47–54.

4. Никитина Н.Ш. Математическая статистика для экономистов: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во НГТУ, 2001. – С. 107–147. – (Серия «Высшее образование»).

5. Орлов А.И. Теория принятия решений: учеб. пособие. – М.: Март, 2004. – 656 с.

References

1. Beshelev S.D., Gurvich F.G. Matematiko-statisticheskie metody ekspertnykh otsenok [Mathematical and statistics methods for the expert estimations]. Moscow: Statistika, 1980. 263 p.

2. Obshchie polozheniya teorii izmerenij [General the measurement theory], available at: http://progcpp.narod.ru/plan/teor_izm.htm (accessed 15 Januaru 2015).

3. Nedovichenko A.A. Ekspertnaya otsenka faktorov, vliyayushchikh na elektrobezopasnost obsluzhivaniya elektroustanovok avtomobilnykh tonnelej [Expert evaluation of the factors affecting the electrical service electrical automobile tunnels]. *Izvestiya Akademii Promyshlennoj Ekologii*, 2002, no. 2, pp. 47–54.

4. Nikitina N.Sh. Matematicheskaya statistika dlya ekonomistov [Mathematical Statistics for Economists: tutorial]. Moscow: Izd-vo NGTU, 2001, pp. 107–147.

5. Orlov A.I. Teoriya prinyatiya reshenij [Decision theory]. Moscow: Mart, 2004. 656 p.

Получено 1.02.2015

Ya. Zhilinskaya

**APPLICATION OF THE METHOD
OF EXPERT ESTIMATIONS FOR THE ANALYSIS
OF CAUSES OF FIRE ON MUNICIPAL SOLID
WASTE LANDFILLS AND THE BURNING PROCESS
INFLUENCE ON CHANGES IN LANDFILL BODY**

The results of application of the method of expert estimations to identify the conditions under which there is a process of municipal solid waste (MSW) combustion on landfills, as well as the changes that occur in the landfill body as a result of this process. Gathering expert information was held by Delphi method, which is a sequenced set of procedures. Combustion processes are an integral part of waste landfills and dumps, as well as play an important role in the formation of landfill soil, so their study was given special attention.

The questionnaire consisting of 10 questions for the first round was developed in order to collect the information about the impact of solid waste combustion processes to change the state of landfills and dumps. As a result of the first round of collection of expert information were interviewed 16 experts, in the second - 14. For the analysis of the information were used such methods as paired comparisons, Ishikawa diagram, Pareto analysis, and the method of rank correlation, which allows to arrange analyzed factors in order of importance.

Rank correlation method used to analyze the factors causing fires at the MSW landfills and dumps, confirmed the results obtained by paired comparison, and allowed to place the studied factors in order of importance. Absolute agreement between the results obtained by two different methods, led to the conclusion about the effectiveness of the method of expert estimations in the field of research on the MSW landfills condition.

Keywords: expert evaluation, Delphi method, rank correlation, MSW landfill, burning of waste on landfills.

Жилинская Яна Андреевна (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: yana@eco.pstu.ac.ru).

Zhilinskaya Yana (Perm, Russian Federation) – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: yana@eco.pstu.ac.ru).