УДК 614.841.2.001.5

И.А.МИХАЙЛОВ, Е.С. БОРОВИНСКАЯ

I.A. MIKHAILOV, E.S. BOROVINSKAYA

**ИНДЕКС ПОЖАРНОГО РИСКА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОЖАРООПАСНОСТИ НА ПОЛИГОНАХ ТКО**

**FIRE RISK INDEX FOR ASSESSING THE FIRE HAZARD AT MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS**

*Пожары на полигонах твёрдых коммунальных отходов являются актуальной проблемой в России, которые наносят вред окружающей среде, здоровью человека, приводят к экономическим убыткам. Важно предотвращать возникновение пожара, так как активное горение внутри тела полигона довольно трудно устранить. В этом направлении уже имеются разработки, которые позволяют оценить риск возникновения пожара на текущий момент. В статье рассматривается данный подход, выделены его достоинства и недостатки, и как этот подход можно улучшить.*

*Ключевые слова: Индекс пожарного риска, твёрдые коммунальные отходы, полигон ТКО, метан, пожар на полигоне ТКО.*

*Fires at solid municipal waste landfills are a pressing problem in Russia, which causes damage to the environment, human health, and results in economic losses. It is important to prevent the occurrence of fire, as active burning inside the landfill body is quite difficult to eliminate. There are already developments in this direction, which make it possible to assess the risk of fire occurrence at the current moment. The article discusses this approach, highlights its advantages and disadvantages, and how this approach can be improved.*

*Keywords:* *Fire risk index, municipal solid waste, landfill, methane, landfill fire.*

В настоящее время одной из самых актуальных проблем является утилизация и переработка твёрдых коммунальных отходов (ТКО). Ежегодно, в мире образуется около 2 млрд тонн ТКО [1].

Твёрдые коммунальные отходы (ТКО) – это отходы, которые образуются в результате жизнедеятельности населения (отходы сферы потребления). Эти отходы представляют собой материалы и изделия, которые непригодны для дальнейшего использования. Они накапливаются на предприятиях общественного питания, в жилых массивах, учреждениях, гостиницах и т. п.

Проблема удаления и обезвреживания ТКО для любого города и крупного населенного пункта является, прежде всего, экологической. Сбор, удаление и обезвреживание ТКО – это взаимосвязанные этапы процесса санитарной очистки населенных мест и составляют одну из наиболее сложных и важных проблем развития и функционирования городского хозяйства, улучшения условий жизни человека и общественной гигиены.

Захоронение на специализированных полигонах – это самый распространённый способ обезвреживания и утилизации ТКО. Полигон твердых коммунальных отходов – это отдельный участок земли или котлован, на который поступают коммунальные отходы. Он представляют собой комплексы природоохранительных сооружений, предназначенных для складирования, изоляции и обезвреживания твёрдых коммунальных отходов. Эти комплексы обеспечивают защиту от загрязнения почвы, атмосферы, грунтовых и поверхностных вод.

Несмотря на то, что планируется снижение вывозимых на захоронение объёмов ТКО в России, захоронение отходов на полигоне остается самым распространённым способом. Однако полигон ТКО может стать «экологической бомбой» в случае возникновения пожара. Пожар на полигоне ТКО может привести к неприятному запаху, выделению опасных для человека и окружающей среды веществ в атмосферу, мусорным оползням и другим проблемам. Поэтому важно предотвращать подобные ситуации, т.к. чем длительнее происходит пожар, тем больший ущерб будет нанесён окружающей среде и человеку. Оптимальным способом предотвращения будет мониторинг текущего состояния полигона и прогнозирование возникновения пожара.

Одним из подходов, который можно применить для нахождения подземных пожаров, является определение индекса пожарного риска [2]. Данный подход был разработан на основе данных, полученных с Бриджтонского полигона ТКО в штате Миссури, США.

В качестве входных параметров используются концентрации метана, кислорода, соотношения метана к углекислому газу и температуру в газовой скважине. Также для определения возникновения пожара используется остаточный азот - часть азота, которая остаётся неиспользованной во время аэробного разложения. Были использованы еженедельные данные в промежутке от июня 2013 года до октября 2016 года.

Далее производилась категоризация параметров на безопасные и небезопасные значения. Результаты категоризации представлены в таблице 1. Безопасные и небезопасные значения метана и кислорода установлены в соответствии с эксплуатационными стандартами, указанными в разделе 40 Свода федеральных правил США (CFR §60.753). Значения соотношения CH4 к CO2 и температуры в газовой скважине соответствуют предложенным Тальхамером [3]. Значения остаточного азота были выбраны на основе работы Эстабрукса [4]. Из полученной категоризации следовало, что в итоге возможно 25 или 32 события для анализа.

Таблица 1 – Безопасные и небезопасные значения параметров для определения возникновения пожара

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение параметров |
| Метан | Безопасные значения: 45-60%  Небезопасные значения: <45% и >60% |
| Кислород | Безопасные значения: <5%  Небезопасные значения: >5% |
| Соотношение CH4 к CO2 | Безопасные значения: >1  Небезопасные значения: <1 |
| Температура в газовой скважине | Безопасные значения: <80oC  Небезопасные значения: >80 oC |
| Остаточный азот | Безопасные значения: <20%  Небезопасные значения: >20% |

После выполнения категоризации было проведено тестирование эффекта влияния каждого параметра на температуру. По результатам этого тестирования было выявлено, что наибольшее влияние на температуру оказывало состояние газов. Если газы находились в небезопасных значениях, температура повышалась.

В дальнейшем применялся алгоритм деревьев условного вывода, чтобы определить факторы, наиболее тесно связанные с температурами в теле полигона. Все параметры были классифицированы как безопасные и небезопасные, в то время как температура была поделена на классы «ниже 55 ℃», «55-80 ℃», «80-93 ℃» и «93-149 ℃». По результатам алгоритма, было выявлено, что небезопасные значения газовых параметров не всегда ассоциируются с высокими значениями температуры, а скорее с разными комбинациями значений.

На основе полученных данных изучалось влияние каждой комбинации параметров на температуру для исключения лишних комбинаций. Газовая комбинация состоит из метана, соотношения CH4 к CO2, остаточного азота и кислорода, где значение 0 указывает на безопасные значения, а 1 – небезопасные значения. В результате получились комбинации с уровнем риска, показанные в таблице 2.

Таблица 2 – Потенциальные уровни рисков для различных газовых комбинаций

|  |  |
| --- | --- |
| Газовые комбинации (CH4\_CH4:CO2\_Ост.азот\_ O2) | Уровни риска |
| 0\_0\_0\_0, 0\_1\_0\_0, 1\_0\_0\_0, 1\_0\_0\_1, 0\_0\_0\_1, 0\_0\_1\_0 | Низкий |
| 1\_0\_1\_0, 1\_0\_1\_1 | Средний |
| 1\_1\_0\_0, 1\_1\_0\_1, 1\_1\_1\_0, 1\_1\_1\_1 | Высокий |

По полученным результатам предлагается алгоритм, состоящий из трёх этапов. На первом этапе проверяется температура в теле полигона. Если она имеет небезопасные значения, то нужно принять меры по её понижению, чтобы избежать пожара. Если же температура в безопасных значениях, то алгоритм переходит ко второму этапу, на котором проверяются значения газов. Если значения газов совпадают с одной из комбинаций, входящих в высокий уровень риска, то нужно принять превентивные меры. Если же значения газов не совпадают, алгоритм переходит к третьему этапу, где проводится проверка по комбинациям среднего уровня риска, и, если эти значения совпадают, то нужно также принять превентивные меры. В случае если они не совпадают, то полигон можно считать временно безопасным.

Данный алгоритм можно использовать для определения категории риска возникновения пожара в теле полигона ТКО, что позволит вовремя остановить распространения пожара и нанесению ещё большего ущерба окружающей среде и человеку.

Стоит отметить, что данный подход не учитывает концентрацию угарного газа, которая является одним из важных параметров, влияющий на определение пожара внутри тела полигона ТКО. Также, данный подход не позволяет спрогнозировать возможное возникновение подземного пожара в будущем. Данный подход можно использовать как основу для разработки математической модели для прогнозирования пожароопасных ситуаций на полигоне ТКО.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Kaza S. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 / S. Kaza, L.Yao, P. Bhada-Tata, F. Van Woerden. – Washington, DC: World Bank, 2018. – 295 p.
2. Sabrin S. Investigating Effects of Landfill Soil Gases on Landfill Elevated Subsurface Temperature. / S. Sabrin, R. Nazari, M. G. R. Fahad, M. Karimi, J. W. Everett, R. W. Peters

// Applied Science. – 2020. – V. 10. – С. 6401.

1. Data Evaluation of the Subsurface Smoldering Event at the Bridgeton Landfill [Электронный ресурс] . – URL: https://semspub.epa.gov/work/07/30286004.pdf
2. Estabrooks, M. Using residual nitrogen to troubleshoot wellfield performance // In Proceedings of the SWANA 36th Annual Landfill Gas Symposium – Las Vegas, NV, USA, 19 March 2013. 5 c.

**Михайлов Игорь Александрович**

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург

Аспирант кафедры системного анализа и информационных технологий

Тел.: +7-911-824-62-80

E-mail: [i.a.mikhailov@mail.ru](mailto:i.a.mikhailov@mail.ru)

**Боровинская Екатерина Сергеевна**

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург

Доктор техинческих наук, доцент, профессор кафедры системного анализа и информационных технологий Тел.: +7 (812) 494-93-02

E-mail: [Ekaterina.borovinskaya@daad-alumni.de](mailto:Ekaterina.borovinskaya@daad-alumni.de)