

УДК 504.06:628.4

*Ноженко А. А.,  
к.т.н. Подлипенская Л. Е.  
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР),  
Коробов А. Ю.*

*(Железнодорожный горно-металлургический колледж, г. Железнодорожный, РФ)*

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВ ПО СБОРУ И ОТВОДУ БИОГАЗА И ФИЛЬТРАТА НА ПОЛИгонах ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

*В данной статье рассмотрена методика оценки эффективности устройств по сбору и отводу биогаза и фильтрата на полигонах твердых бытовых отходов по нескольким критериям с учетом неопределенности исходной информации.*

**Ключевые слова:** полигон, твёрдые бытовые отходы, биогаз, фильтрат, устройство, сбор, отвод, эффективность.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** Образование твердых бытовых отходов (ТБО) является неизбежным результатом человеческой деятельности. Из-за значительного роста численности населения, особенно городского, повышения уровня жизни за последние десятилетия и, как следствие, роста потребления резко увеличилось образование и накопление ТБО. На душу населения в мире ежегодно приходится от 150 до 1000 кг ТБО. Чтобы полностью решить эту проблему, твёрдые бытовые отходы надо полностью перерабатывать как ценное промышленное сырьё и топливо. Но в данный момент это очень затруднительно во многих случаях по экономическим и техническим причинам.

Большая часть отходов вывозится на полигоны ТБО и там захоранивается. Известно, что полигоны ТБО должны строиться и эксплуатироваться в соответствии с жесткими требованиями нормативных документов, выполнение которых обеспечивает приемлемый в настоящее время уровень экологической безопасности. Однако значительное количество полигонов функционирует со значительной перегрузкой и не соответствует требованиям экологической безопасности, что сближает их по степени воздействия на окружающую среду с несанкционированными свалками.

Они являются очень значительным источником загрязнения атмосферы, почв, поверхностных и подземных вод. Кроме того, для их расположения необходимы значительные по площади участки городской земли, которые могут быть остро необходимы для строительства промышленных и гражданских объектов.

Источником загрязнения поверхностных и подземных вод является фильтрат, который образуется при прохождении атмосферных осадков и талых вод через слои ТБО. В результате процесса разложения пищевых отходов и окисления металлов процесс распада сложных органических соединений в анаэробных условиях проходит достаточно долго. Для фильтрата характерна высокая степень минерализации, повышенное содержание хлоридов, сульфатов, соединений азота, фосфора, железа, тяжелых металлов [1]. Большинство загрязнений, в основном неорганических, не задерживаются почвой при прохождении через неё фильтрата и попадают в объекты гидрографической сети и в подземные воды на глубины более 20 м, которые могут быть источниками водоснабжения. Установки по улавливанию и очистке фильтрата на большинстве полигонов отсутствуют.

Через 3–4 года с начала складирования ТБО с поверхности полигона начинает вы-

деляться биогаз, который образуется в основном при разложении с ограниченным доступом кислорода таких фракций мусора, как бумага, текстиль, древесина и пищевые отходы. Первые 15–20 лет  $1 \text{ м}^3$  ТБО при разложении выделяет от 1 до  $1,5 \text{ м}^3$  биогаза, затем интенсивность газовыделения резко сокращается, полностью прекращаясь через 50 лет. Этот биогаз примерно на 40–60 % состоит из метана, 30–45 % диоксида углерода, а также содержит сероводород, кислород, азот, оксид углерода, оксиды азота, углеводороды и другие компоненты. Гнилостный запах от полигонов ТБО распространяется при безветрии в среднем на 100–150 м, а при сильном ветре — до 1 км. В теплый период года, при значительных положительных температурах и длительном отсутствии осадков, полигоны твердых бытовых отходов подвержены возгораниям. При этом в атмосферу выделяется огромное количество загрязняющих веществ, а возникшие очаги возгорания являются источником существенной пожарной опасности для проживающего рядом населения и объектов инфраструктуры.

Метан является парниковым газом, и его выделение с поверхности свалок во всем мире ежегодно оценивается в 10–30 млрд  $\text{м}^3$ . Доля свалок в суммарной эмиссии метана от наземных источников составляет около 4 %. Использование полигонного биогаза для производства тепла, электроэнергии и топлива явно недостаточно и имеет значительный потенциал [2].

Вместе с тем использование биогаза в качестве топлива имеет определенные технические сложности. В течение года метан выделяется неравномерно, в основном в весенне-летний период, а в отопительный сезон практически не выделяется. Из-за особенностей конструкции полигонов ТБО не может быть обеспечена значительная скорость транспортировки биогаза к коллектору.

В связи с этим минимизация негативного воздействия биогаза и фильтрата поли-

гонов твердых бытовых отходов на окружающую среду является актуальной задачей при их реконструкции, техническом перевооружении или рекультивации. Для достижения наилучших из технически возможных показателей работы установок по очистке фильтрата и утилизации биогаза необходимо максимально эффективно их собирать и отводить. Поэтому определение эффективности таких устройств в условиях крайней многовариантности условий их функционирования и конструктивных особенностей очень важно.

**Постановка задачи.** *Целью* настоящей работы является разработка методики оценки эффективности устройств по сбору и отводу биогаза и фильтрата на полигонах твердых бытовых отходов по нескольким критериям с учетом неопределенности исходной информации.

**Объект исследования** — устройства по сбору и отводу биогаза и фильтрата на полигонах твердых бытовых отходов.

**Предмет исследования** — факторы, оказывающие существенное влияние на эффективность устройств по сбору и отводу биогаза и фильтрата на полигонах твердых бытовых отходов.

**Задачей исследования** является построение системы нечетких оценок для сравнения различных устройств по сбору и отводу биогаза и фильтрата на полигонах твердых бытовых отходов.

**Методика исследования.** С помощью патентного поиска и анализа литературных источников выявлены общие конструктивные особенности устройств по сбору и отводу биогаза и фильтрата на полигонах ТБО. Экспертным методом определены критерии, позволяющие выбрать лучшие из этих устройств. Впервые для оценки эффективности таких устройств применена теория нечетких множеств.

**Изложение материала и его результаты.** Известные устройства по сбору и отводу биогаза и фильтрата на полигоне ТБО включают подготовку основания, монтаж вертикального газового дренажа, послой-

ную укладку отходов с пересыпкой изолирующими слоями, монтаж системы горизонтального газового дренажа, устройство изолирующего покрытия поверхности сформированного полигона, при этом отвод биогаза и фильтрата производят из колодца, верхний конец которого оборудован заглушкой с отверстиями для трубопроводов, при помощи газосборника и эрлифта, установленных внутри колодца [3, 4].

Недостатком таких устройств являются недостаточная эффективность работы по сбору отходящих газов и фильтрата, а также ограничение технологической возможности контроля над работой системы.

Для совершенствования подобных устройств необходимо рационально разместить дополнительный дренаж усовершенствованной формы и ввести систему автоматического контроля концентрации биогаза и фильтрата.

Это достигается за счет того, что в устройстве по сбору и отводу фильтрата и биогаза на полигонах твердых бытовых отходов, которое состоит из полимерного кольца с глухими стенками и днищем из полимерного листового материала, на котором оборудован колодец основного вертикального дренажа, с возможностью наращивания полимерными кольцами с перфорированными гофрированными стенками, к основному вертикальному дренажу крепится система дополнительного дренажа с заглушками на концах, в верхней части основного вертикального дренажа есть заглушка с отверстиями, в которые вставлены полимерные трубки для отвода биогаза и фильтрата, дополнительный дренаж, выполненный под углом к основному вертикальному дренажу и имеющий сечение в виде треугольника с перфорацией по верхней грани, причем на концах трубок для отвода биогаза и фильтрата установлены датчики контроля концентрации и уровня биогаза и фильтрата соответственно, что позволяет сократить зону распространения загрязняющих веществ, повысить удобство и эффективность контроля эксплуатации устройства [5].

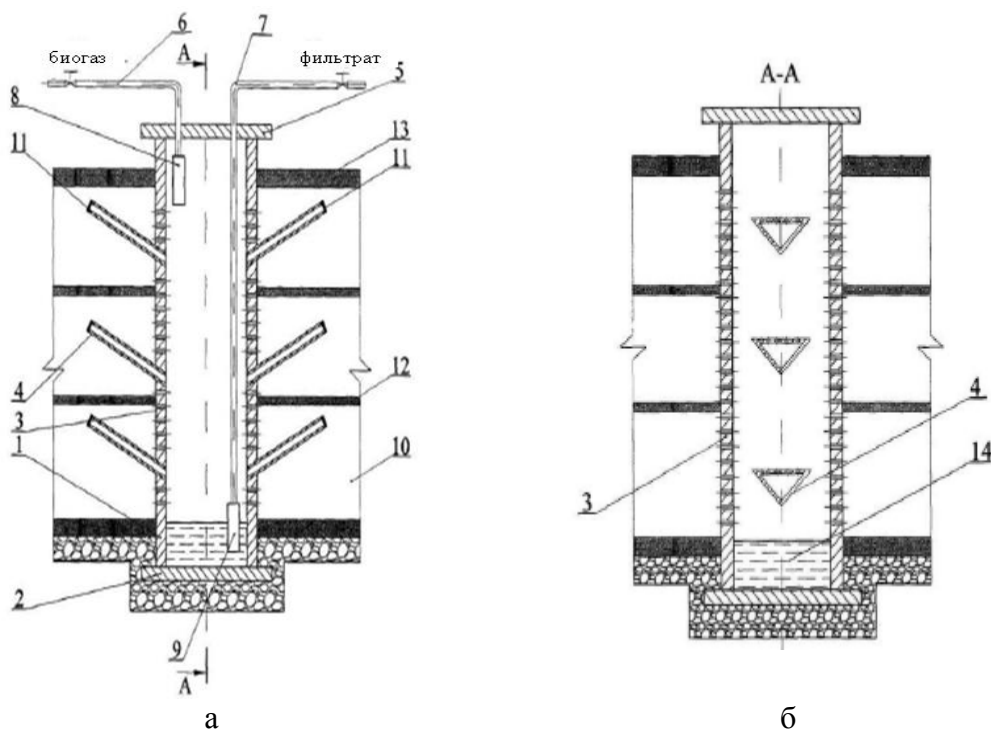
На рисунке 1 показан разрез вертикального колодца и дополнительного дренажа вдоль и поперек оврага. Устройство сбора и отвода биогаза на полигоне твердых бытовых отходов состоит из кольца в виде полимерной трубы 1 с глухими стенками и днищем 2 из полимерного листового материала, основного вертикального колодца дренажа 3 из полимерного перфорированного гофрированного кольца с возможностью наращивания, дополнительного дренажа 4, выполненного под углом в виде полимерных труб треугольного сечения с перфорацией по верхней грани, заканчивающиеся заглушками, крышки 5 с отверстиями, в которую вмонтированы вертикальные полимерные трубки для отвода биогаза 6 и фильтрата 7, на концах которых установлены датчики 8 и 9 для контроля за концентрацией и уровнем биогаза и фильтрата соответственно.

Устройство эксплуатируется следующим образом. При формировании днища полигона устанавливают в котлован первое кольцо из полимерной трубы 1 с глухими стенками и днищем 2 из полимерного листового материала, на которое наращивают колодец вертикального дренажа 3 из полимерного перфорированного гофрированного кольца, верхний конец колодца заделывают крышкой 5, которая имеет отверстия для прохода вертикальных труб 6 и 7, через которые отводится и удаляется биогаз и фильтрат. Крышку 5 монтируют и демонтируют на каждом цикле. Начинают заполнение первого слоя отходами 10, причем отходы 10 укладывают до уровня отверстий в стенках колодца для монтажа дополнительного дренажа 4, который монтируется под углом, концы дренажа 4 заделывают постоянными заглушками 11, после чего продолжают укладку отходов до достижения проектной высоты слоя с уклоном в сторону естественного стока, поверх которого укладывают изолирующий слой 12 из инертного материала, например, песка или шлаков. Поверхность последнего слоя отходов покрывают слоем

наружной гидроизоляции 13 из пленочно-го или иного материала. Фильтрат 14 и биогаз через отверстия в стенках основного дренажа 3 и дополнительного дренажа 4 проникают во внутреннюю полость колодца. Фильтрат 14 собирается в нижней части устройства и при срабатывании датчика уровня 9 транспортируется на поверхность по полимерному трубопроводу 7, подсоединенному к компрессорной станции, а при увеличении концентрации биогаза датчик биогаза 8 запускает вакуумную систему сбора газа и отводит его на поверхность.

Проведенный патентный поиск показал, что конструктивно устройства имеют много общего и отличаются некоторыми изменениями, направленными на повышение эффективности работы устройства. При

сравнении различных устройств возникает проблема выбора критерия, по которому выявляется лучшее устройство. Экспертным методом были определены эти критерии: эффективность сбора биогаза, эффективность сбора фильтрата, стоимость производства устройства, простота конструкции и автоматизация контроля процесса работы устройства. До последнего времени задачи оценки качества устройств по сбору и отводу биогаза и фильтрата на полигоне ТБО решались по одному из перечисленных выше критериев и без учета неопределенности информации в оценке приведенных критериев, которая, как правило, имеет размытые границы. В данной работе предлагается осуществлять выбор лучшего решения по нескольким критериям с учетом неопределенности исходной информации.



1 — полимерная труба; 2 — днище; 3 — основной вертикальный дренаж колодца; 4 — дополнительный дренаж; 5 — крышка; 6 — полимерная трубка для отвода биогаза; 7 — полимерная трубка для отвода фильтрата; 8 — датчик концентрации биогаза; 9 — датчик уровня фильтрата; 10 — отходы; 11 — постоянные заглушки; 12 — изолирующий слой; 13 — наружная гидроизоляция; 14 — фильтрат

Рисунок 1 Разрез вертикального колодца и дополнительного дренажа вдоль оврага (а) и поперек оврага (б)

В последнее время для решения задач с размытыми критериями широкое применение получила теория нечетких множеств, которая является основой FUZZY-технологии. Разработанная в 1965–1973 годах [6] математическая теория нечетких множеств Лотфи Заде, даёт возможность описывать нечеткие понятия и знания, выполнять операции с ними и делать нечеткие выводы. Новые подходы позволяют расширить сферу приложения систем оценок объектов далеко за пределы применимости классической теории. В этом плане интересна точка зрения Л. Заде, который рассматривал теорию нечетких множеств как аппарат анализа и моделирования гуманистических систем, т. е. систем, в которых участвует человек. Его подход опирается на предпосылку о том, что элементами мышления человека являются не числа, а элементы некоторых нечетких множеств или классов объектов, для которых переход от «принадлежности» к «непринадлежности» не скачкообразен, а непрерывен. Л. А. Заде использовал термин “fuzzy set” (нечеткое множество). В переводе на русский язык термин “fuzzy” переводится как нечеткий, размытый или расплывчатый.

Методы теории нечетких множеств достаточно широко используются почти во всех прикладных областях, в том числе и исследованиях экологического направления [6, 7].

Опишем в краткой форме идею применения нечетких оценок. Допустим, требуется оценить устройство по нескольким приоритетным (техническим, технологическим, экономическим, экологическим и т. п.) показателям. Введем величину  $V$  — оценку устройства, которая представляет собой лингвистическую переменную с термами ( $V_1$  — отличное устройство,  $V_2$  — удовлетворительное устройство,  $V_3$  — неудовлетворительное устройство). В качестве оснований выбираются показатели  $X_1, X_2, \dots, X_k$ . Термы задаются нечеткими множествами, которые описываются при помощи функций принадлежности. В нашей модели они строятся на основе экспертных оценок и имеют треугольную или

трапецевидную форму. Следует отметить, что параметры функций принадлежности термов лингвистической переменной  $V$  зависят от конкретных условий используемых устройств по сбору фильтрата и биогаза и находятся в процессе построения оценочной модели устройств, предшествующей сбору информации  $X_1, X_2, \dots, X_k$  реальных устройств. По каждому основанию  $X_i$  находятся значения функций принадлежности  $\{\mu_{V_1}; \mu_{V_2}; \mu_{V_3}\}$ , затем строится интегральная оценка по всем термам. Данный результат имеет размытые границы. При необходимости может быть дефазифицирован, т. е. приведен к четкой конкретной оценке. В итоге эксперт получает результат оценки устройств.

Решим задачу построения системы нечетких оценок для сравнения устройств по сбору и отводу биогаза и фильтрата.

Определим следующее множество  $X\{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5\}$  оценок или факторов, оказывающих существенное влияние на общую оценку устройства (табл. 1, первый столбец). Отметим, что количество факторов и их содержание в данной работе являются также весьма условными параметрами, поскольку наша цель заключается в изучении возможностей применения нечетких множеств для нечеткого оценивания качества, и данный конкретный пример служит лишь иллюстрирующей базой. При необходимости данная модель нечетких оценок может быть дополнена новыми факторами.

Для определения границ оснований выбранных нами термов были опрошены эксперты. Результаты обработки полученных данных представлены в таблице 1. На основании этих данных и анализа смыслового содержания показателей в отношении к термам лингвистической переменной  $V$  построим функции принадлежности  $\{\mu_{V_1}; \mu_{V_2}; \mu_{V_3}\}$  для каждого  $X_i$  показателя. Поскольку факторы  $X_1$ – $X_3$  являются количественными признаками, то имеет значение выбор формы функций принадлежности. Они представлены на рисунках 2–3.

**ГЕОЭКОЛОГИЯ**

Таблица 1

Характеристика значений показателей при разных термах V

Основания (показатели)	Термы		
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>
X <sub>1</sub> — эффективность сбора биогаза (%)	Высокая эффективность 75–100	Средняя эффективность 30–80	Низкая эффективность <35
X <sub>2</sub> — эффективность сбора фильтрата (%)	Высокая эффективность 80–100	Средняя эффективность 45–85	Низкая эффективность <50
X <sub>3</sub> — стоимость производства устройства (%)	Низкая стоимость, невысокая стоимость	Невысокая стоимость, немаленькая стоимость	Высокая стоимость, немаленькая стоимость
X <sub>4</sub> — простота конструкции (ед.)	Простая	Умеренно простая, умеренно сложная	Сложная
X <sub>5</sub> — автоматизация контроля процесса работы устройства	Есть	Частичная (дополнительно монтируемая)	Нет

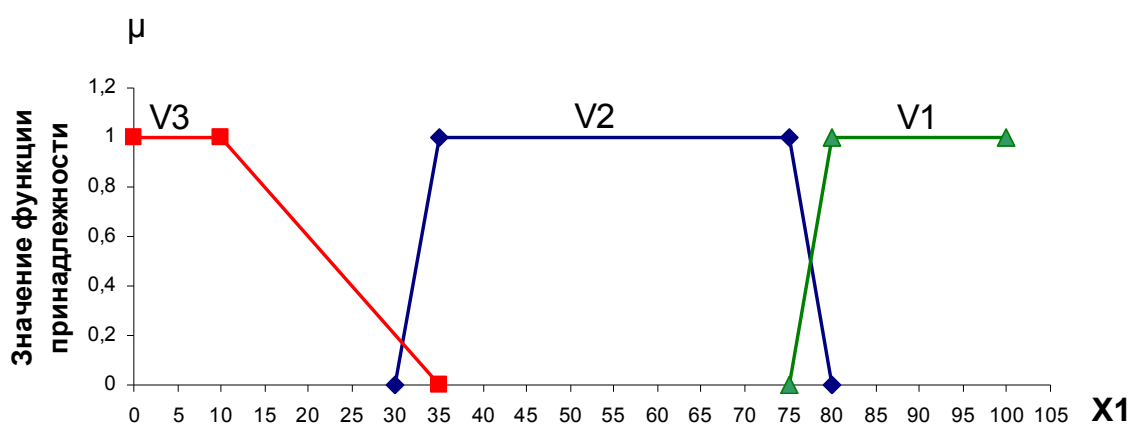


Рисунок 2 Функции принадлежности по основанию X<sub>1</sub>

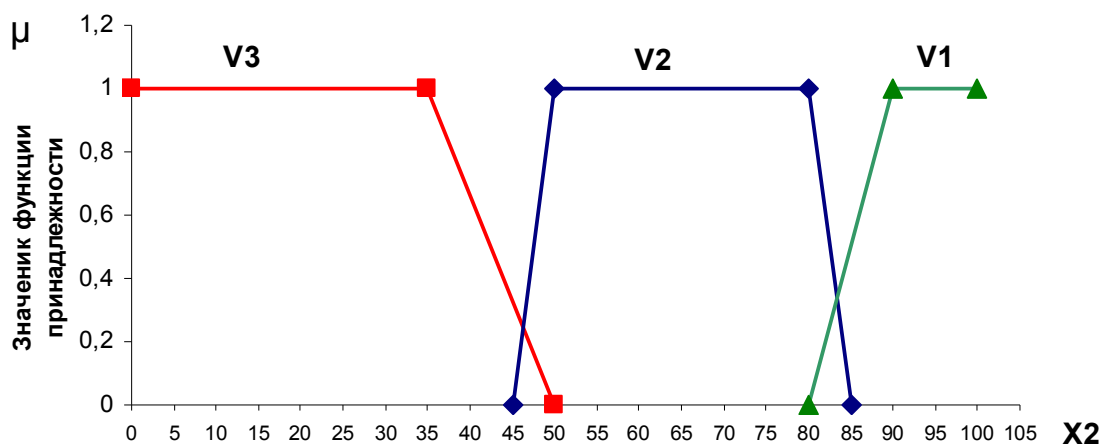


Рисунок 3 Функции принадлежности по основанию X<sub>2</sub>

**ГЕОЭКОЛОГИЯ**

В результате аналитического описания функций принадлежности для факторов

$X_1$ – $X_2$  получим следующие формулы:

$$\mu_{v1}(x_1) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x_1 < 75 \\ \frac{x_1 - 75}{5}, & 75 \leq x_1 < 80, \\ 1, & 80 \leq x_1 \leq 100 \end{cases}$$

$$\mu_{v1}(x_2) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x_2 < 80 \\ \frac{x_2 - 80}{10}, & 80 \leq x_2 < 90, \\ 1, & 90 \leq x_2 \leq 100 \end{cases}$$

$$\mu_{v2}(x_1) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x_1 < 30 \\ \frac{x_1 - 30}{5}, & 30 \leq x_1 < 35 \\ 1, & 35 \leq x_1 < 75, \\ \frac{80 - x_1}{5}, & 75 \leq x_1 < 80 \\ 0, & 80 \leq x_1 \leq 100 \end{cases}$$

$$\mu_{v2}(x_2) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x_2 < 45 \\ \frac{x_2 - 45}{5}, & 45 \leq x_2 < 50 \\ 1, & 50 \leq x_2 < 80, \\ \frac{85 - x_2}{5}, & 80 \leq x_2 < 85 \\ 0, & 85 \leq x_2 \leq 100 \end{cases}$$

$$\mu_{v3}(x_1) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x_1 < 10 \\ \frac{35 - x_1}{25}, & 10 \leq x_1 < 35, \\ 0, & 35 \leq x_1 \leq 100 \end{cases}$$

$$\mu_{v3}(x_2) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x_2 < 35 \\ \frac{50 - x_2}{15}, & 35 \leq x_2 < 50. \\ 0, & 50 \leq x_2 \leq 100 \end{cases}$$

Для качественных показателей  $X_3$ – $X_5$  значение уровней функций принадлежно-

сти устанавливаем экспертным путем. Результаты представлены в таблицах 2–4.

Таблица 2

Функция принадлежности для качественного показателя  $X_3$

$X_3$ — стоимость производства устройства	Функция принадлежности	Значения показателя $X_3$			
		Дёшево	Умеренно дёшево	Умеренно дорого	Дорого
	$\mu_{v1}(X_3)$	0,9	0,6	0	0
	$\mu_{v2}(X_3)$	0,1	0,4	0,6	0
	$\mu_{v3}(X_3)$	0	0	0,4	1

Таблица 3

Функция принадлежности для качественного показателя  $X_4$

$X_4$ — простота конструкции	Функция принадлежности	Значения показателя $X_4$			
		Простая	Умеренно простая	Умеренно сложная	Сложная
	$\mu_{v1}(X_4)$	0,6	0,4	0	0
	$\mu_{v2}(X_4)$	0,4	0,6	0,6	0,2
	$\mu_{v3}(X_4)$	0	0	0,4	0,8

Таблица 4

Функция принадлежности для качественного показателя  $X_5$

$X_5$ — автоматизация контроля процесса работы устройства	Функция принадлежности	Значения показателя $X_5$			
		Есть	Частичная	Возможная (дополнительно монтируемая)	Нет
	$\mu_{v1}(X_5)$	1	0,4	0,2	0
	$\mu_{v2}(X_5)$	0	0,6	0,8	0,2
	$\mu_{v3}(X_5)$	0	0	0	0,8

**ГЕОЭКОЛОГИЯ**

Таким образом строится экспертная система оценки качества устройств по отводу фильтрата и биогаза по отдельным показателям. Для конкретного устройства  $U$ , имеющего показатели  $x_i$ , получается матрица значений функций принадлежности  $M = \left\| \mu_{V_k}(X^i) \right\|_{k=1,3}^{i=1,5}$ .

Для интегрирования частных показателей в итоговый показатель необходимо ранжировать показатели по их информативности в отношении к итоговой оценке качества устройства по сбору фильтрата и

$$V = \begin{cases} V_1 \text{ (высокая эффективность) с функцией принадлежности } \mu_{V_1}(X); \\ V_2 \text{ (удовлетворительная эффективность) с функцией принадлежности } \mu_{V_2}(X); \\ V_3 \text{ (неудовлетворительная эффективность) с функцией принадлежности } \mu_{V_3}(X). \end{cases}$$

Используя описанную выше технологию нечетких оценок, выполним сравнительный анализ рассмотренных устройств. Фактические значения показателей  $X_1$ – $X_5$  приведены в таблице 6.

Запишем результаты расчета нечетких оценок сравниваемых устройств (табл. 7). Прокомментируем полученные оценки. Качество устройства  $A$  может быть отличным, удовлетворительным и неудовлетворитель-

биогаза и определить значения соответствующих весовых коэффициентов (табл. 5).

Учитывая, что итоговая оценка носит накопительный характер, вычислим значение функции принадлежности по интегральному основанию, которое будем рассматривать как пересечение следующих множеств:

$$X = X^1 \cap X^2 \cap X^3 \cap X^4 \cap X^5, \\ \mu_{V_k}(X) = \sum_{i=1}^5 \lambda_i \cdot \mu_{V_k}(X^i).$$

В результате получаем итоговую нечеткую оценку устройства:

Мера возможностей этих состояний (или уверенность в этом) оценивается соответственно значениями функций принадлежности 0,22; 0,78; 0. Для устройства  $B$  оценки имеют следующий вид: 0,7; 0,18; 0,12. Следовательно, с наибольшей уверенностью мы можем сказать, что устройство  $A$  скорее всего удовлетворительного качества (мера уверенности в этом равна 0,78), а устройство  $B$  — отличного качества (мера 0,7).

Таблица 5

Приоритетность для показателей  $X_1$ – $X_5$

Основания (показатели)	Приоритетность	$\lambda$ — весовой коэффициент
$X_1$ — эффективность сбора биогаза	1	0,3
$X_2$ — эффективность сбора фильтрата	1	0,3
$X_3$ — стоимость производства устройства	3	0,1
$X_4$ — простота конструкции	2	0,2
$X_5$ — автоматизация контроля процесса работы устройства	3	0,1

Таблица 6

Сравнение таблиц показателей устройств  $A$  и  $B$

Основания (показатели)	Устройство $A$	Устройство $B$
$X_1$ — эффективность сбора биогаза (%)	70	90
$X_2$ — эффективность сбора фильтрата (%)	55	90
$X_3$ — стоимость производства устройства	Умеренно дешевая	Умеренно дорогая
$X_4$ — простота конструкции	Умеренно простая	Умеренно сложная
$X_5$ — автоматизация контроля процесса работы устройства	Частично есть	Есть



**ГЕОЭКОЛОГИЯ**

Таблица 7

Нечеткие оценки устройств А и В

Устройства	Основания	Функции принадлежности по термам $V_k$		
		$\mu_{V_1}(X)$	$\mu_{V_2}(X)$	$\mu_{V_3}(X)$
Устройство А	$X_1$	0	1	0
	$X_2$	0	1	0
	$X_3$	0,6	0,4	0
	$X_4$	0,6	0,4	0
	$X_5$	0,4	0,6	0
	Интегральное основание X	0,22	0,78	0
Устройство В	$X_1$	1	0	0
	$X_2$	1	0	0
	$X_3$	0	0,6	0,4
	$X_4$	0	0,6	0,4
	$X_5$	1	0	0
	Интегральное основание X	0,7	0,18	0,12

Результаты сравнения могут изменяться при изменении приоритетов критериев сравнения. Например, изменим приоритеты, представленные ранее в таблице 5, следующим образом (табл. 8).

Тогда векторы функций принадлежности будут иметь вид (табл. 9). Анализируя результаты, можно сделать вывод, что устройство В скорее всего отличного качества, в то время как устройство А удовлетворительного качества.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Разработанная система определения нечеткой итоговой оценки уст-

ройства по сбору и отводу фильтрата и биогаза позволяет:

- определять интегральные характеристики качества устройства в форме мягких оценок, не отрицая ни одного возможного состояния качества, а лишь оценивая степени их возможностей;
- сравнивать несколько устройств, используя векторы нечетких оценок, характеризующих возможности разных состояний качества;
- учитывать различные приоритеты критериев качества устройств по сбору и отводу фильтрата и биогаза при выборе оптимального в конкретных условиях устройства.

Таблица 8

Варианты приоритетов для показателей  $X_1$ – $X_5$

Основания (показатели)	Приоритетность	$\lambda$	Приоритетность	$\Lambda$
$X_1$	1	0,2	1	0,25
$X_2$	1	0,2	1	0,25
$X_3$	1	0,2	1	0,25
$X_4$	1	0,2	3	0,08
$X_5$	1	0,2	2	0,17

Таблица 9

Векторы функций принадлежности

Устройство	$\mu_{V_1}(X)$	$\mu_{V_2}(X)$	$\mu_{V_3}(X)$	Приоритетность
А	0,32	0,68	0	2
В	0,6	0,24	0,16	2
А	0,27	0,73	0,00	3
В	0,67	0,20	0,13	3

Дальнейшие исследования будут направлены на увеличение состава показателей, на основании которых оценивается эффективность устройства по сбору и отводу фильтрата и биогаза. Также будет расширен класс рассматриваемых устройств аналогичного назначения с различными конструктивными решениями.

### Библиографический список

1. Варнавская, И. В. Анализ условий образования и состава сточных вод полигонов твердых бытовых отходов [Текст] / И. В. Варнавская // *Экология и промышленность*. — 2008. — № 1. — С. 39–43.
2. Вайсман, Я. И. Управление отходами. Сточные воды и биогаз полигонов захоронения твердых бытовых отходов: монография [Текст] / Я. И. Вайсман, В. Н. Коротаев, И. С. Глушанкова [и др.] ; под ред. Я. И. Вайсмана. — Пермь : ПНИПУ, 2012. — 259 с.
3. Гелетуха, Г. Г. Обзор технологий добычи и использования биогаза на свалках и полигонах твердых бытовых отходов и перспективы их развития на Украине [Текст] / Г. Г. Гелетуха, З. А. Марценюк // *Экотехнологии и ресурсосбережение*. — 1999. — № 4. — С. 6–14.
4. Пат. 2242299 Российская Федерация, МПК В09В1/00, В09В3/00. Способ сбора и отвода биогаза и фильтрата на полигонах твердых бытовых отходов в оврагах и складках местности / В. В. Верстов, А. С. Кысыыдак ; заявитель и патентообладатель С-Пб. гос. арх.-стр. ун-т. — № 2003121062 ; заявл. 07.08.2003 ; опубл. 20.12.2004, Бюл. № 35. — 4 с. : ил.
5. Пат. 85338UA Украина, МПК С1 В09В1/00, В09В3/00. Устройство для сбора и отвода биогаза и фильтрата на полигонах твердых бытовых отходов / А. Ю. Коробов, В. А. Давиденко, А. А. Ноженко, Д. А. Вишневский ; заявитель и патентообладатель Донбас. гос. техн. ун-т. — № а200714455 ; заявл. 21.12.2007 ; опубл. 12.01.2009, Бюл. № 1. — 4 с. : ил.
6. Заде, Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений [Текст] / Л. А. Заде. — М. : Мир, 1976. — 287 с.
7. Рыжов, А. П. Элементы теории нечетких множеств и ее приложений [Текст] / А. П. Рыжов. — М. : Диалог-МГУ, 2003. — 254 с.

© Ноженко А. А.

© Подлипенская Л. Е.

© Коробов А. Ю.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. МЧМ ДонГТИ Проценко М. Ю.,  
к.геол.н., доц. каф. СуА ЛГУ им. В. Даля Горовой Н. А.*

Статья поступила в редакцию 26.03.2022.

**Nozhenko A. A., Ph.D. Podlipenskaya L. Ye. (DonSTI, Alchevsk, LPR), Korobov A. Yu.**  
(Zheleznogorsk Mining and Metallurgical College, Zheleznogorsk, Russian Federation)

### ASSESSING THE EFFICIENCY OF HOLDING AND DISPOSAL UNITS FOR BIOGAS AND LEACHATE AT LANDFILLS

*This paper discusses a methodology for assessing the effectiveness of holding and disposal units for biogas and leachate at landfills for municipal solid waste according to several criteria considering the uncertainty of the initial information.*

**Key words:** *landfill, municipal solid waste, biogas, leachate, units, holding, disposal, efficiency.*