

УДК 631.5

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ПРИ ПОИСКЕ И ВЫБОРЕ ПРОТОТИПА УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ**

Зиганшин Булат Гусманович  
д.т.н., профессор, профессор РАН, первый проректор-проректор по научной работе и цифровой трансформации  
РИНЦ SPIN-код= 2886-7325; orcid id= 0000-0002-8250-9403  
[zigan66@mail.ru](mailto:zigan66@mail.ru)  
*Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия, 420015, ул. К.Маркса д. 65*

Фахреев Наиль Насихович  
к.т.н., ст. преподаватель  
РИНЦ SPIN-код= 8081-2833, Scopus Author ID= 57202993583, ORCID id= 0000-0002-0975-1682  
[fakhreevnn@mail.ru](mailto:fakhreevnn@mail.ru)  
*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия, 420066, ул. Красносельская д.51*

В статье применена методика экспертной оценки выбора наилучшего решений для утилизации отходов агропромышленного сектора экономики. Методика основана на анализе иерархий и заключается в попарном сравнении и выявлении наиболее важных с точки зрения экологии, энергетики и агрономии критериев и применении их при сравнении альтернатив для решения задачи утилизации отходов. Действующее законодательство позволяет сельхоз производителям содержащих сельхоз животных и сельхоз птицу перевести свои отходы, в продукты, используемые в качестве удобрения и в течении года искать и внедрить решения позволяющие это сделать. Данный этап является ключевой для обоснования внедрения инженерного решения для утилизации многотоннажных отходов. Данная методика применима не только на действующие предприятия, но и на стадии принятия проектных решений. Начальным этапом перед применением данной методики авторами были изучены предлагаемые решения для утилизации отходов. Методика применима тогда, когда действия и решения являются согласованными между всеми экспертами – авторами. В результате наиболее предпочтительным инженерным решением для утилизации отходов агропромышленного сектора экономики выбрана установка газификации с

UDC 631.5

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

**APPLICATION OF THE HIERARCHY ANALYSIS METHOD IN THE SEARCH AND SELECTION OF A PROTOTYPE FOR THE DISPOSAL OF CARBON-CONTAINING WASTE IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX**

Ziganshin Bulat Gusmanovich  
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, First Vice-Rector for Research and Digital Transformation  
RSCI SPIN-code = 2886-7325; orcid id = 0000-0002-8250-9403  
[zigan66@mail.ru](mailto:zigan66@mail.ru)  
*Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia, 420015, K.Marksa, 65*

Fakhreev Nail Nasikhovich  
Cand.Tech.Sci., senior lecturer  
RSCI SPIN code = 8081-2833, Scopus Author ID = 57202993583, ORCID id = 0000-0002-0975-1682  
[fakhreevnn@mail.ru](mailto:fakhreevnn@mail.ru)  
*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia, 420066, Krasnoselskaya, 51*

The article uses the methodology of expert assessment of the choice of the best solutions for waste disposal in the agro-industrial sector of the economy. The methodology is based on the analysis of hierarchies and consists in pairwise comparison and identification of the most important criteria from the point of view of ecology, energy and agronomy and their application when comparing alternatives to solve the problem of waste disposal. The current legislation allows agricultural producers containing farm animals and farm poultry to transfer their waste into products used as fertilizers and throughout the year to search and implement solutions to do this. This stage is key to substantiate the implementation of an engineering solution for the disposal of high-tonnage waste. This technique is applicable not only to existing enterprises, but also at the stage of making design decisions. At the initial stage, before applying this technique, the authors studied the proposed solutions for waste disposal. The methodology is applicable when actions and decisions are coordinated between all expert authors. As a result, the gasification plant with the production of energy-valuable fuel gas and ash was chosen as the most preferred engineering solution for the disposal of waste from the agro-industrial sector of the economy. All the products obtained can be used for their own needs or sold on the fertilizer and energy market

получением энергетически ценного топливного газа и золы. Все полученные продукты возможно использовать на собственные нужды или реализовать на рынке удобрений и энергоресурсов

Ключевые слова: ПОБОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ, ЭКСПЕРТНЫЙ АНАЛИЗ, АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Keywords: BY-PRODUCTS, EXPERT ANALYSIS, ALTERNATIVE TECHNOLOGIES

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-201-030>

Деятельности агропромышленного комплекса уделяется пристальное внимание природоохранных организаций. Платы вносимые за образующиеся отходы растут из года в год. Так в 2023 году дополнительный коэффициент к ставкам платы за негативное воздействие на окружающую среду составляет 1,26, в проекте на 2024 год ставка уже 1,32. Платежи оказывают экономическую нагрузку на сельхозпроизводителей животных и птицы.

В поддержку сельхозпроизводителей с 1 марта 2023 года вступил в силу Федеральный закон №248-ФЗ «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Данный закон регламентирует обращение с образующимися многотонажными отходами (помет, навоз, подстилка). С 2023 года сельхозпроизводители при соблюдении требований по хранению, транспортированию и переработке, вправе классифицировать свои отходы как побочный продукт и при соблюдении санитарных требований реализовать их как удобрение с дальнейшим внесением на поля.

Остается открытым вопрос, какие технологии использовать для переработки образующихся побочных продуктов?

Несомненно, органическая часть помета и навоза состоит из азота, а также фосфора и калия и при надлежащей подготовке, ее можно использовать в качестве удобрения. Но патогенная микрофлора требует особого внимания. Эпидемиологический и ветеринарный надзор ведут

<http://ej.kubagro.ru/2024/07/pdf/30.pdf>

непрерывный контроль признанных сельхозпроизводителями побочных продуктов. В противном случае, данные продукты, признаются отходами и в силу вступает Федеральный закон №7-ФЗ "Об охране окружающей среды", сельхозпроизводителям накладываются экологические платежи.

На сегодняшний день РД-АПК 1.10.15.02-17 предусматривает переработку органосодержащих отходов методом буртования на специализированных площадках или вблизи сельскохозяйственных угодий для их внесения в качестве удобрения.

К достоинствам данной технологии отнесем следующее:

- капиталовложения;
- энергозатраты;
- сохранение азота в компосте.

К недостаткам относятся:

- значительный отвод земель под бурты;
- негативное воздействие на компоненты окружающей среды (образование парниковых газов: метан);
- наиболее длительный процесс.

Согласно тем же рекомендациям помет может утилизироваться методом сбраживания в анаэробных реакторах, то есть в среде без присутствия кислорода воздуха. Этот метод известен снижением всхожести семян сорняков, подавлением не только активности, но и полным уничтожении болезнетворных микроорганизмов, повышением питательной ценности обработанного данным способом сырья, а также производство биогаза.

Достоинства сбраживания анаэробным (бескислородным) способом является:

- обеспечивается полное подавление патогенных форм микроорганизмов, в том числе дегельминтизация;
- удобрительная ценность сохраняет свой состав;

– полученный биогаз является топливом для генерации тепла и электричества.

Данная технология является более предпочтительной по сравнению с традиционным буртование.

Предлагаемое решение кроме преимуществ имеет недостатки. Бактерии, которые поддерживают процесс метаногенеза в метантенках достаточно сложно контролируемый, ввиду того что процесс должен проходить при определенных температурах, а сырье должно быть чистым от любых примесей: от химических примесей до соломы, которые могут полностью подавить работу бактерий.

При сравнительном анализе существующих инженерных решений особенно, касается объектов 1 категории негативного воздействия, требуется поиск и внедрение технологий включенных в справочники наилучших доступных технологий.

К таким технологиям (инженерным решениям) относятся технологии газификации органосодержащих отходов.

Газификация представляет собой термическую утилизация с получением топливного газа и освобожденную от патогенной микрофлоры золы. Процесс протекает при высоких температурах от 800 до 1300 К.

Достоинствами данной технологии является:

- короткое время процесса;
- высокая калорийность топлива.

К недостаткам можно отнести:

- срок службы узлов установки в зоне высоких температур;
- отсутствие азота в конечном продукте.

Обоснование применения каждой альтернативной технологии требует тщательного технико-экономического анализа применительно к конкретному объекту.

На уровне экспертного анализа технологий как прототипа для дальнейшего расчета уже на реальный объект возможно применение метода анализа иерархий состоящий в попарном сравнении по критериям для каждого альтернативного решения [1].

Для сравнения выбираем наиболее важные, по мнению авторов критерии. Данные критерии будут отображать аграрные, энергетические и экологические уровни.

В качестве критериев сравнения альтернатив приняты:

1. Использование добавок;
2. Использование дополнительной энергии;
3. Удобрительные свойства;
4. Эмиссия вредных выбросов;
5. Сложность обслуживания.

Метод заключается в решении задач многокритериальной оптимизации в условиях неопределённости и ко всему прочему предполагает решение отдельных задач сравнения критериев и альтернатив исключительно попарно. Основная цель выбранного метода является совместная работа экспертов, имеющих общую задачу и исключительно по согласованности мнений.

Значения интенсивности относительной важности задается по шкале от 1 до 9:

- равная важность по методике анализа иерархий задается значением «1»;
- превосходство одного над другим умеренного уровня задается значением «3»;
- превосходство одного над другим существенного уровня задается значением «5»;

Еще 2 уровня отмечаются в попарном сравнении наибольшей оценкой это:

- значительное задается значением «7»;

а также:

– очень сильное превосходство задается значением «9».

### Экспертная часть

Приведенные выше технологии по методу анализа иерархий на первом этапе подвергаются попарному сравнению критериев в форме матрицы в таблицу 1.

Таблица 1. Матрица сравнения критериев

	1	2	3	4	5	$\omega$	$\omega_{\text{норм}}$
1	1,00	0,33	0,14	0,20	0,14	0,27	0,04
2	3,00	1,00	0,14	0,33	0,33	0,54	0,08
3	7,00	7,00	1,00	0,33	0,33	1,40	0,21
4	5,00	3,00	3,00	1,00	0,33	1,72	0,25
5	7,00	3,00	3,00	3,00	1,00	2,85	0,42
$\Sigma$	23,00	14,33	7,29	4,87	2,14	6,79	

Как видим из таблицы наиболее значимым фактором авторы считают сложность обслуживания. Для буртования это связано с негерметичностью бетонных швов, а также рыхление буртов для аэрации массы при компостировании связанное с необходимостью ускорить переработку в удобрение в одиннадцатимесячный период и исключения экологических платежей. В технологии газификации важно исключать присосы воздуха ввиду протекания реакции при отсутствии кислорода воздуха. (Элемент вектора №5 равный 0,42). На втором месте стоит эмиссия парниковых газов и дурно пахнущих веществ, кроме того, при хранении происходит выветривание взвешенных веществ при компостировании. В технологиях биогаза и газификации данная проблема отсутствует (№4 равный 0,25), на третьем месте – удобрительные свойства

перерабатываемой массы (№3 равный 0,22). Важный показатель для аграриев (азот, фосфор, калий). При компостировании необходимо выдержать органический отход для уничтожения патогенной микрофлоры и при этом сохранить баланс азота, фосфора и калия. Но при суровых климатических условиях это затруднительно, также технологии биогаза затребуют дополнительной энергии для поддержания термофильных процессов. Значение составило 5,69.

Оценку следует проводить до максимального собственного значения матрицы равной или больше заданных критериев, т.е. в нашем случае выше значения «5».

По результатам оценки данное условие пришло к согласованности собственного значения матрицы. В противном случае требуется переосмысление матриц.

Далее строятся матрицы попарных сравнений альтернатив отдельно по каждому критерию. Результаты сведены в таблицы 2 – 6.

Таблица 2. Матрица. Критерий: использование добавок

	А	Б	В	$\omega$	$\omega_{\text{норм}}$
А	1,00	0,33	1,00	0,11	0,087
Б	3,00	1,00	0,50	0,50	0,39
В	1,00	2,00	1,00	0,67	0,52
$\Sigma$	5,00	3,33	2,50	1,28	
максимальное собственное значение матрицы					3,04

Таблица 3. Матрица. Критерий: Использование дополнительной энергии

	А	Б	В	$\omega$	$\omega_{\text{норм}}$
А	1,00	0,14	10,00	0,48	0,168
Б	7,00	1,00	1,00	2,33	0,82
В	0,10	1,00	1,00	0,03	0,01
$\Sigma$	8,10	2,14	12,00	2,84	
максимальное собственное значение матрицы					3,25

Таблица 4. Матрица. Критерий: Удобрительные свойства

	А	Б	В	$\omega$	$\omega_{\text{норм}}$
А	1,00	1,00	1,00	0,33	0,333
Б	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33
В	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33
$\Sigma$	3,00	3,00	3,00	1,00	
максимальное собственное значение матрицы					3

Таблица 5. Матрица. Критерий: Эмиссия вредных выбросов

	А	Б	В	$\omega$	$\omega_{\text{норм}}$
А	1,00	1,00	1,00	0,33	0,333
Б	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33
В	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33
$\Sigma$	3,00	3,00	3,00	1,00	
максимальное собственное значение матрицы					3



Таблица 6. Матрица. Критерий: Сложность обслуживания

	А	Б	В	ω	ω <sub>норм</sub>
А	1,00	0,11	10,00	0,37	0,109
Б	9,00	1,00	1,00	3,00	0,88
В	0,10	1,00	1,00	0,03	0,01
Σ	10,10	2,11	12,00	3,40	
максимальное собственное значение матрицы					3

### Заключение. Анализ. Выводы

Все матрицы парных сравнений для альтернатив сформированы. Согласованность собственных значений подтверждена.

На данном этапе требуется произвести взвешивание нормированных собственных векторов альтернативных решений весами критериев.

Математическая запись данного этапа представим в виде матрицы:

$$\begin{pmatrix} n_{11} & n_{12} & \dots & n_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{pmatrix} \times \begin{Bmatrix} \omega_1 \\ \dots \\ \omega_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X_1 \\ \dots \\ X_m \end{Bmatrix}$$

где  $m$  – число сравниваемых вариантов (альтернатив),  $n$  – число критериев сравнения,  $X_i (i=1, \dots, m)$  – вектор приоритетов между вариантами, являющийся окончательным решением.

Три технологии, являющиеся альтернативными решениями и имеющие реализованные проекты в различных отраслях экономики. По результатам экспертной оценки они дали следующие результаты:  $X_1 = 0,2$ ;  $X_2 = 0,6$ ;  $X_3 = 0,1$ .

По результат значение соответствующая элементу  $X_2$  – биогазовая установка, имеет оценку равную 0,6, что является наибольшей и, следовательно оказывается в целом по комплексу рассматриваемых

критериев менее привлекательной по экологии, энергетике и аграрном направлениях. Рассмотренное альтернативное решение – газификационная установка напротив эксперты дали наименьшую оценку равную 0,1. По результатам оценки считается, что преимущество по комплексу критериев, в результате экспертного оценивания отдано данному варианту с газификационными установками.

Дальнейшие исследования следует проводить по выбранному прототипу – газификационной установке. Обоснование конструкционных характеристик, энергозатрат для утилизации многотонажных отходов следует проводить для конкретно выбранного объекта.

#### **Список литературы**

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993.

#### **References**

1. Saati T. Prinjatie reshenij. Metod analiza ierarhij. M.: Radio i svjaz', 1993.