

Метод анализа иерархий при поиске и выборе прототипа утилизации  
углеродсодержащих отходов в агропромышленном комплексе  
Зиганшин Б.Г. ФГБОУ ВО "Казанский государственный аграрный  
университет" ORCID 0000-0002-8250-9403  
Фахреев Н.Н. ФГБОУ ВО "Казанский государственный аграрный  
университет" ORCID 0000-0002-0975-1682  
Гайфуллин И.Х. ФГБОУ ВО "Казанский государственный аграрный  
университет" ORCID 0000-0001-9786-5227

## **Введение**

Деятельности агропромышленного комплекса уделяется пристальное внимание природоохранных организаций. Платы вносимые за образование отходов растет из года в год. так в 2023 году дополнительный коэффициент за негативное воздействие на окружающую среду составляет 1,26, в проекте на 2024 год ставка уже 1,32. Платежи оказывают экономическую нагрузку на сельхоз производителей.

В поддержку аграриев 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 сельхоз производители при соблюдении требований по хранению, транспортированию и переработке в праве классифицировать свои отходы как побочный продукт и при соблюдении санитарных требований реализовать их как удобрение и внести на поля.

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

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

признанных сельхоз предприятиями побочных продуктов. В противном случае данные продукты признаются отходами и в силу вступает Федеральный закон №7-ФЗ "Об охране окружающей среды", сельхоз предприятиям 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 [1].

К достоинствам данной технологии отнесем следующее:

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

К недостаткам относится:

- 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 анаэробного сбраживания, т.е. в бескислородной среде. Данный метод обеспечивает дегельминтизацию, потерю всхожести семян сорняков, подавление патогенных форм микроорганизмов, повышению удобрительной ценности обрабатываемого продукта и получению биогаза.

Достоинства анаэробного сбраживания является:

- обеспечивает дегельминтизацию, подавление патогенных форм микроорганизмов;
- повышение удобрительной ценности;
- получение биогаза.

Данная технология является более предпочтительной по сравнению с традиционным буртование.

Данные технологии кроме преимуществ имеют и 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 [2,3].

При сравнительном анализе существующих инженерных решений особенно касается объектов 1 категории негативного воздействия требуется поиск и внедрение технологий включенных в справочники наилучших доступных технологий [4].

К таким технологиям (инженерным решениям) относятся технологии газификации органосодержащих отходов [5].

Газификация представляет собой термическую утилизацию 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 [6].

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.

Данный метод заключается в решении задач многокритериальной оптимизации в условиях неопределенности. Данный метод предусматривает решение отдельных задач парного сравнения критериев и альтернатив. Прямое назначение метода – совместная работа экспертов, объединенных единой целью, по согласованию мнений. [7]

Интенсивность относительной важности задается следующими значениями:

- 1 Равная важность;
- 3 Умеренное превосходство одного над другим;
- 5 Существенное превосходство;
- 7 Значительное превосходство;
- 9 Очень сильное превосходство.

### **Экспертная часть**

Приведенные выше технологии по методу анализа иерархий на первом этапе подвергаются по парному 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, это связано с негерметичностью бетонных швов, рыхления буртов для аэрации массы при компостировании. Это связано с необходимостью ускорить переработку в удобрение в одиннадцатимесячный период для 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 также затребуют дополнительной энергии для поддержания термофильных процессов составило 5,69.

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

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 1-6.

Таблица 2. Матрица. Критерий: использование добавок

|   | A    | Б    | В    | $\omega$ | $\omega_{\text{норм}}$ |
|---|------|------|------|----------|------------------------|
| A   | 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

|   | A    | Б    | В     | $\omega$ | $\omega_{\text{норм}}$ |
|---|------|------|-------|----------|------------------------|
| A   | 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

|  | A | 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     | $\omega$ | $\omega_{\text{норм}}$ |
|---|-------|------|-------|----------|------------------------|
| 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                   |
| $\Sigma$                                  | 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:

$$\begin{pmatrix} n_{11} & n_{12} \dots & n_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} \dots & c_{mn} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \square_1 \\ \dots \\ \square_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 \\ \dots \\ X_m \end{pmatrix}$$

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

Окончательные значения при решении матрицы следующие  $X_1 = 0,2$ ;  $X_2 = 0,6$ ;  $X_3 = 0,1$ .

Биогазовая установка, соответствующая элементу  $X_2$  имеет наибольшую оценку (0,6) и, следовательно оказывается в целом по комплексу рассматриваемых критериев менее привлекательной с точки зрения экологии, энергетики и аграрного направления. Преимущество по комплексу критериев, в результате экспертного оценивания отдано варианту с газификационными установками. Дальнейшие исследования следует проводить по выбранному прототипу для утилизации многотонажных отходов в экспертном сравнительный конструктивных особенностей газификационных установок.