

**СРАВНЕНИЕ УГЛЯ И ТОПЛИВНЫХ СУСПЕНЗИЙ ИЗ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
МЕТОДОВ МНОГОФАКТОРНОГО АНАЛИЗА**

**В.В. Дорохов**

Научный руководитель - доцент К.Ю. Вершинина

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Одним из основополагающих условий нормальной экономической жизни является бесперебойное, достаточное и эффективное производство тепла и электроэнергии. Согласно [1], за период 1973–2016 гг. в структуре первичных источников энергии произошли перемены, которые выразились в перераспределении долей отдельных категорий энергетических источников, включающих традиционные ископаемые топлива, возобновляемую энергетику, биотоплива, атомную и гидроэнергетику. Однако нефть, уголь и природный газ по-прежнему составляют основу для обеспечения энергетических предприятий, транспорта и промышленности.

Одними из недостаточно оцененных (особенно в странах-экспортерах) ресурсов, которые могут стать альтернативным сырьем для получения энергии, являются отходы угле- и нефтепереработки. С учетом ежегодного прироста объемов потребления нефти и угля [1], количество таких отходов растет пропорционально объемам производства таких ресурсов.

Задачи определения энергетических и экологических параметров сжигания топливных смесей из отходов решались в ряде работ (например, [3,4]). Также в этих работах была предпринята попытка оценить эффективность этих суспензий в сравнении с углем через расчет обобщенного показателя. Недостатком проведенной работы являлось ограниченность выбранных параметров и неучет возможных приоритетов (к примеру, в экологии или энергетике). В рамках данного исследования планируется провести более детальную работу по оценке эффективности нескольких составов топливных суспензий на основе отходов угле- и нефтепереработки и сравнении их с углем, который является наиболее распространенным котельным топливом. Для этого будет расширен перечень учитываемых параметров (включая несколько энергетических, экономических, экологических и социальных) и также будет проведено ранжирование приоритетов в зависимости от региона потенциального применения топлива.

В современной практике для подобного анализа широкое применение находят методы Multiple-criteria decision-making (MCDM) [2]. В данной работе будет рассматриваться метод Analytic Hierarchy Process (АНР).

Целью работы является определение наиболее привлекательных топливных композиций на основе отходов угле- и нефтепереработки для разных регионов мира.

**Analytic Hierarchy Process**

В основе АНР лежит иерархическая структура. Нулевым уровнем иерархии является цель (в рассматриваемой работе нулевым уровнем иерархии принята стоимость топлива). На первом уровне иерархии находятся категории критериев (в нашем случае такими категориями являются экологические, энергетические, социальные, экономические и безопасности). На втором уровне находятся сами критерии (время задержки зажигания, концентрации  $NO_x$  и  $SO_x$  в продуктах сгорания и др.).

Суммарное значение всех весовых коэффициентов внутри каждой категории должно быть равно 1. Значения весовых коэффициентов принимаются исходя из требований потребителя и определяются путем попарных сравнений всех категорий и входящих в них критериев [2].

По формуле 1 определяется взвешенная сумма критериев  $A_n$  с учетом значения нулевого уровня иерархии (нормированная стоимость  $C$ ), найденных весовых коэффициентов для каждой категории критериев (первый уровень иерархии) и для отдельных критериев (второй уровень иерархии).

$$A_n = C \sum w_n \sum (w_j \cdot x_{ij}), \quad (1)$$

где  $w_n$  – весовой коэффициент для каждой группы критериев;  $w_j$  – весовой коэффициент для каждого критерия;  $x_{ij}$  – нормированное значение критерия;  $C$  – нормированная стоимость топлива.

Наилучшим вариантом будет считаться тот вариант, у которого итоговый показатель  $A_n$  имеет наибольшее значение.

Оценка эффективности топливных смесей по АНР

В рамках работы производилось сравнение нескольких топливных смесей на основе отходов угле- и нефтепереработки, а также угольной пыли, по вышеуказанным критериям.

Топливные смеси представлены в таблице 1.

*Таблица 1*

*Исследуемые топливные композиции*

№	Состав
1	100% фильтр-кек (влажный)
2	55% уголь, 45% вода
3	40% фильтр-кек (сухой), 50% вода, 10% отработанное турбинное масло
4	20% угольный шлам, 30% фильтр кек, 10% торф, 40% вода
5	100% уголь

При оценке эффективности топливной композиции необходимо учитывать ряд показателей, необходимых для более точного определения коэффициента эффективности топливной смеси. Все показатели для более удобного обращения были разделены на группы по некоторым признакам.

В работе было выделено 5 групп критериев:

1. технико-экономические показатели – отражают затраты, связанные с использованием топлива, а также его доступность;
2. энергетические показатели – характеризуют процесс сжигания топлива и определяют показатели работы топливосжигающей установки;
3. экологические показатели – отражают безопасность использования топлива для окружающей среды;
4. показатели безопасности – позволяют оценить потенциал того или иного топлива с точки зрения обеспечения безаварийной работы станции или котельной;
5. социальные показатели – к этой группе относятся критерии, оказывающие влияние на благосостояние региона.

#### Результаты и обсуждения

По результатам расчета по методу АНР уголь и водоугольная суспензия имеют минимальные итоговые показатели (рис. 1). Причинами этого являются низкая пожаровзрывобезопасность данных топлив, их относительно высокая стоимость, а также низкие значения экологических критериев. В частности, достигается 32-х кратная разница между фильтр-кеком и углем в расчете по методу АНР для Китая (рис. 1). Безусловно, нужно в будущем учитывать, что при таком подходе на лидирующие позиции может попасть топливо, например, с плохими экологическими характеристиками и высокой пожароопасностью, но низкой стоимостью. Этот момент необходимо принять в рассмотрение на этапе задания весовых критериев для каждой категории. Несмотря на это, потенциал методики АНР заключается в том, что можно интересующий параметр поставить на нулевой уровень иерархии и получить показатель, который будет показывать итоговую эффективность с акцентом на установленный приоритет. Согласно полученным данным, для каждой из рассмотренных стран, наиболее предпочтительными топливами являются отход углеобогащения и суспензия на основе угольных отходов, воды и торфа.

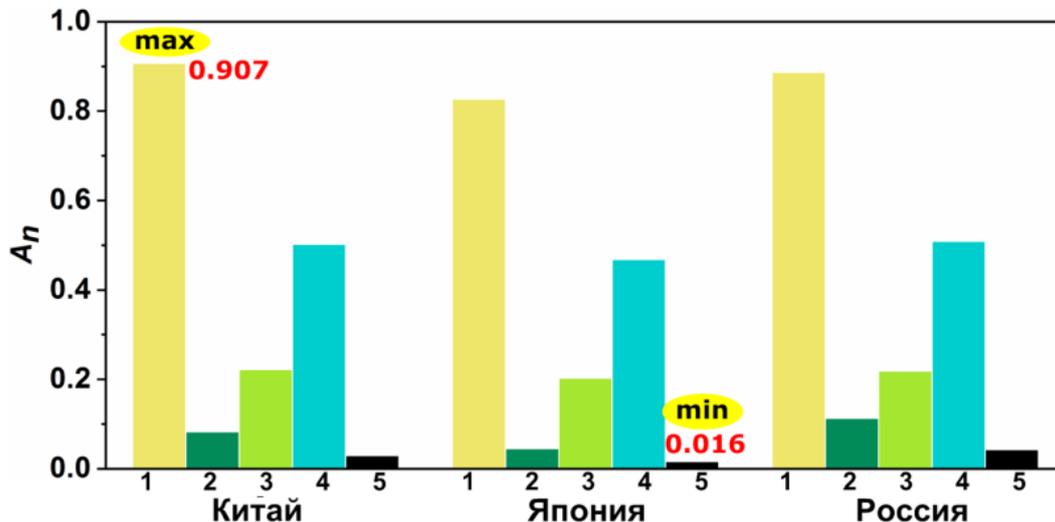


Рис. 1. Итоговые показатели эффективности топлив для трех стран, рассчитанные с использованием метода АНР (номера столбцов диаграмм соответствуют топливам из табл. 1;  $T_g \approx 800$  °C)

#### Заключение.

В данной работе был рассмотрен метод АНР в качестве средства принятия решения о выгоде использования различных топливных смесей. На основе полученных оценок можно сделать вывод о весомом преимуществе топлив на основе отходов угле- и нефтепереработки по сумме показателей в сравнении с пылеугольным топливом. Методики многокритериального анализа могут использоваться как инструмент для качественной и количественной оценки перспектив планирования, проектирования и использования технологий утилизации горючих отходов для получения энергии.

#### Литература

1. Key world energy statistics 2018, International Energy Agency, 2018
2. Kumar A., Sah B., Singh A.R., Deng Y., He X., Kumar P., Bansal R.C. A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development//Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – № 69. – С.596 – 609.
3. Nyashina G.S., Kurgankina M.A., Strizhak P.A. Environmental, economic and energetic benefits of using coal and oil processing waste instead of coal to produce the same amount of energy//Energy Conversion and Management. – 2018. – № 174. – С.175 – 187.
4. Nyashina G.S., Vershinina K.Y., Shlegel N.E., Strizhak P.A. Effective incineration of fuel-waste slurries from several related industries//Environmental Research. – 2019. – № 176.