

**МНОГОФАКТОРНАЯ ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ  
ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТОВ СУСПЕНЗИОННЫХ ТОПЛИВ**

**Д.С. Романов**

Научный руководитель - доцент К.Ю. Вершинина

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

В связи с ежегодным ростом потребления тепловой и электрической энергии, также растет доля потребления ископаемых ресурсов. Добыча энергетических ресурсов для производства тепловой и электрической энергии ведет к истощению общемировых запасов полезных ископаемых, а также формированию большого количества отходов. Также в ходе жизнедеятельности человека ежегодно формируется большое количество отходов органического и неорганического происхождения. Исходя из данных, представленных в [6], можно сказать, что около 44% всех общемировых отходов, формируемых человеком это органические вещества, 17% – пластмасса, 12% – бумага и картон, 14% – несортируемые отходы, 13% – прочие отходы (металлы, стекло, дерево, резина). Ежегодный прирост твердых бытовых отходов (ТБО) во всем мире составляет 1.3 – 1.5 млрд. тонн [1, 3, 4].

Одним из вариантов обращения с отходами является использование их в качестве компонентов композиционных жидких топлив (КЖТ). Основу КЖТ могут представлять отходы угле- и нефтепереработки, в качестве дополнительных компонентов возможно включать ТБО [2]. При подсчете конечной эффективности новых топливных составов необходимо учитывать сразу несколько критериев оценки (экологические, экономические, энергетические). Для многофакторной оценки целесообразно применять методы анализа данных на основе MCDM (Multiple-criteria decision-making). В рамках данной работы планируется сопоставить несколько составов КЖТ для разных регионов мира с применением MCDM.

**Weight sum method**

Данная методика основана на определении весового коэффициента для фактора, который влияет на конечный результат [5]. Несмотря на то, что критерии, определяющие эффективность топлива, имеют разные единицы измерения, данный метод можно использовать при приведении каждого критерия к нормальному виду. Значения сопоставленных критериев лежат в пределах от 0 до 1 и не имеют размерности.

Суммарное значение всех весовых коэффициентов должно быть равно 1. Значения весовых коэффициентов принимаются исходя из требований и пожеланий конечного потребителя. После назначения всех весовых коэффициентов каждый вариант А с использованием формулы (1) характеризуется одним числом – значением взвешенной суммы критериев:

$$A = \sum w_j \times x_{ij} \quad (1)$$

где  $w_j$  – весовой коэффициент для каждого критерия,

$x_{ij}$  – нормализованное значение критерия.

Вариант считается наиболее предпочтительным, если взвешенная сумма критериев является максимальной.

**Оценка эффективности топливных смесей по WSM**

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 данной работе было выделено 4 группы:

1. технико-экономические показатели (включает стоимость и доступность топливных компонентов);
2. энергетические показатели (оценка характеристик воспламенения и горения топлива, теплота сгорания);
3. экологические показатели (оценка влияния топлива на окружающую среду);
4. показатели безопасности (оценка возможности работы с топливом в безаварийном режиме).

В рамках работы производилось сравнение нескольких топливных смесей на основе отходов и угольной пыли по вышеуказанным группам критериев.

Топливные смеси представлены в таблице 1.

*Таблица 1*

*Исследуемые топливные композиции*

№	Состав
1	100% фильтр-кек (влажный)
2	15% угольный шлам, 25% фильтр-кек, 10% опилки, 50% вода
3	15% угольный шлам, 25% фильтр-кек, 10% остаток пиролиза автомобильных шин, 50% вода
4	90% фильтр-кек, 10% картон
5	100% уголь Д

**Результаты и обсуждения**

Использование отходов углеобогащения или ТБО позволяет повысить эффективность топлива на 24–40% для России; на 14–34% для США; на 17–33% для Индии. Самым высоким значением эффективности обладает топливная композиция: 100% фильтр-кек. Это связано с тем, что данный вид топлива является наиболее дешевым,

обладает высокими абсолютными значениями критериев оценки эффективности, а также не требует больших финансовых вложений для создания системы транспортировки и хранения. Самым низким значением эффективности из рассматриваемых топлив обладает топливная смесь следующего состава: 15% угольный шлам, 25% фильтр-кек, 10% остаток пиролиза автомобильных шин, 50% вода. Результатом низкого значения эффективности топлива, может являться то, что в компонентный состав топлива входят вода и остаток пиролиза автомобильных шин. Как следствие, снижается теплотворная способность топлива и повышается стоимость (за счет высокой стоимости и низкой доступности пиролизного остатка отработанных шин).

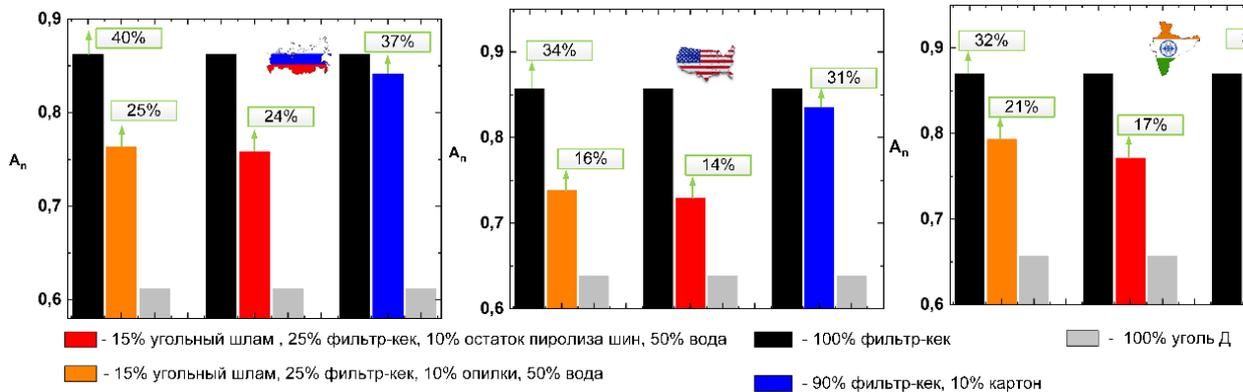


Рис. 1. Показатель эффективности топливных смесей, рассчитанный с использованием WSM относительно пылеугольного топлива

#### Заключение

Рассмотрены различные методы оценки эффективности топлив. Для удобства и расчета эффективности был выбран WSM, как один из простых методов. WSM подразумевает задание весовых коэффициентов для группы значимых факторов в зависимости от условий и требований (приоритетов), предъявляемых к топливу и его использованию. Визуальное представление круговых диаграмм, а также множество выбранных критериев ( $C$ ,  $C_{TR}$ ,  $A$ ,  $\tau_{d1}$  и т.д.) позволяют проанализировать эффективность топливной смеси относительно установленных приоритетов. Рассматривая все факторы, влияющие на эффективность топлива, можно сказать, что практически по 80% критериям, пылеугольное топливо проигрывало другим видам топливных смесей.

WSM метод показал, что для России и США целесообразно использовать фильтр-кек в качестве альтернативного топлива для теплогенерирующих установок. Для Индии рекомендуется использовать топливную композицию, состоящую из 90% фильтр-кека и 10% картона. Использование данных топливных композиций вместо традиционных топлив позволит экономить около 1 млрд. т твердого ископаемого топлива в течение 15–20 лет при утилизации около  $25 \cdot 10^9$  т отходов углеобогащения,  $0,25 \cdot 10^9$  т твердых бытовых отходов.

Работа выполнена в рамках проекта ВИУ ИШФВП 60/2019.

#### Литература

1. Edjabou, M.E., Martín-Fernández, J.A., Scheutz, C., Astrup, T.F. Statistical analysis of solid waste composition data: Arithmetic mean, standard deviation and correlation coefficients//Waste Management. – 2017. – №69. – p. 13–23.
2. Glushkov D, Kuznetsov G, Paushkina K, Shabardin D. The main elements of a strategy for combined utilization of industrial and municipal waste from neighboring regions by burning it as part of composite fuels//Energies. – 2018. – №11(10).
3. Malinauskaitė, J., Jouhara, H., Czajczyńska, D., Stanchev, P., Katsou, E., Rostkowski, P., Thorne, R.J., Colón, J., Ponsá, S., Al-Mansour, F., Anguilano, L., Krzyżyńska, R., López, I.C., Vlasopoulos, A., Spencer, N. Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe//Energy. – 2017. – №141. – p. 2013–2044.
4. Milutinović, B., Stefanović, G., Đekić, P.S., Mijailović, I., Tomić, M. Environmental assessment of waste management scenarios with energy recovery using life cycle assessment and multi-criteria analysis//Energy. – 2017. – №137. – p. 917–926.
5. Wimmmler C., Hejazi G., de Oliveira Fernandes E., Moreira C., and Connors S. Multi-Criteria Decision Support Methods for Renewable Energy Systems on Islands//J. of Clean Energ. Technol. – 2015. – №3. – p. 181 – 192.
6. World Bank, 2018. What a Waste 2.0. A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. <https://www.worldbank.org/en/news/infographic/2018/09/20/what-a-waste-20-a-global-snapshot-of-solid-waste-management-to-2050> (accessed 25 March 2019)