

УДК 519.866:662.75
<https://www.doi.org/10.47813/nto.5.2024.1003>

EDN [WALGQX](#)

Проведение эконометрического исследования на основе свойств композиционного топлива

С.Т. Тажикбаева

Ошский государственный университет, город Ош, 723500, Кыргызстан

E-mail: stajikbaeva@oshsu.kg

Аннотация. В данной статье представлен эконометрический анализ регрессионной модели для оценки эффективности получения композиционного водоугольного топлива с использованием кавитационно-пластификационного метода. Основной целью исследования является создание математической модели, которая позволит выявить взаимосвязи между физико-химическими параметрами компонентов смеси и её эксплуатационными свойствами, такими как теплотворная способность, вязкость, стабильность во времени и экономическая эффективность. Результаты экспериментального исследования по длиннопламенному углю применены к эконометрическому исследованию. Рассмотрены ключевые факторы, влияющие на теплотворную способность топлива, такие как содержание пирогенетической жидкости и устойчивость смеси в процессе хранения. При проведении эконометрического исследования по регрессионной модели в качестве основных факторов были приняты теплота сгорания, вязкость, средний размер капель, стабильность топлива и состав смеси и в ходе исследования компоненты смеси брались в разных пропорциях. На основе регрессионного анализа выявлена прямая зависимость теплотворной способности композиционного топлива от содержания пластификатора и обратная зависимость от уровня расслоения смеси. Результаты исследования позволяют предложить оптимальные условия для повышения стабильности и эффективности композиционного топлива, что имеет важное значение для разработки экологически и экономически обоснованных энергетических ресурсов.

Ключевые слова: композиционное топливо, регрессионная модель, эконометрический анализ, пирогенетическая жидкость.

Conducting an econometric research based on the properties of composite fuel

S. T. Tazhikbaeva

Osh State University, Osh, 723500, Kyrgyzstan

E-mail: stajikbaeva@oshsu.kg

Abstract. This article presents an econometric analysis of a regression model to assess the efficiency of producing composite coal-water fuel using the cavitation-plasticization method. The main goal of the study is to create a mathematical model that will identify the relationships between the physical and chemical parameters of the components of the mixture and its operational properties, such as calorific value, viscosity, stability over time and economic efficiency. The results of a pilot study on long-flame coal are applied to an econometric study. The key factors influencing the calorific value of the fuel, such as the content of pyrogenetic liquid and the stability of the mixture during storage, are considered. When conducting an econometric study using a regression model, calorific value, viscosity, average droplet size, fuel stability and mixture composition were taken as the main factors, and during the study, mixture components were taken in different proportions. Based on regression analysis, a direct dependence of the calorific value of the composite fuel on the plasticizer content and an inverse dependence on the level of mixture stratification were revealed. The results of the study make it possible to propose optimal conditions for increasing the stability and efficiency of composite fuel, which is important for the development of environmentally and economically viable energy resources.

Keywords: composite fuel, regression model, econometric analysis, pyrogenetic liquid.

1. Введение

Водоугольное топливо (ВУТ) – это вид экологически и экономически выгодного топлива, получаемого путем смешивания угля с водой. По мере измельчения частиц угля эффективность процесса сгорания увеличивается. Он рассматривается как альтернатива традиционному твердому топливу, играет важную роль в сокращении выбросов газов и эффективном использовании энергетических ресурсов. Это особенно важно для стран, интенсивно использующих уголь и крупных промышленных регионов. Использование данной технологии позволяет снизить затраты в промышленном производстве и энергетике.

Одной из основных проблем при производстве водоугольного топлива является стабильность смеси. Поскольку частицы угля тяжелые, они нестабильны в воде и могут тонуть, ухудшая качество топлива. Это требует многократного перемешивания смеси, что усложняет производственный процесс и увеличивает затраты. Поэтому обеспечение стабильности смеси играет ключевую роль при приготовлении композиционного топлива [1].

На основе фундаментальных исследований для повышения устойчивости рекомендуется добавление химических соединений в состав водоугольного топлива. Добавляя в смесь стабилизаторы и пластификаторы, можно обеспечить равномерное распределение частиц в смеси в течение длительного времени без оседания. Однако этот метод может иметь некоторые недостатки: 1) цена присадок создает дополнительные затраты, что снижает экономическую эффективность смеси; 2) эти соединения могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду при горении. Поэтому возникает необходимость подготовки водоугольного топлива другим способом [2].

Размер частиц угля оказывает большое влияние на длительное хранение смеси. Поэтому желательно, чтобы диаметр угольных частиц в смеси был достаточно малым. С этой целью при приготовлении смеси водоугольного топлива необходимо использовать кавитационный метод. При кавитации происходят интенсивные гидродинамические воздействия, которые помогают более равномерно распределить угольные частицы в водной среде и улучшить смачиваемость угля водой. Использование кавитации и турбулентных потоков обеспечивает равномерное перемешивание мелких частиц. Этот метод экономически и экологически эффективен, поскольку не добавляется никаких химических добавок. Но сохранить эту смесь стабильной в течение длительного времени

сложно. Чтобы продлить стабильность смеси, необходимо ее постоянно помешивать. А этот процесс требует дополнительных затрат энергии.

Оба рассмотренных метода имеют свои преимущества и недостатки. Отсюда возникает необходимость повышения качества водоугольного топлива за счет их комбинирования, используя метод кавитационно-пластификации.

Целью исследования является создание и исследование регрессионной модели получения водоугольного композиционного топлива кавитационно-пластификационным методом.

2. Методы исследования

Для достижения поставленной цели нам необходимы результаты экспериментов, проводимых в этом направлении. Трехкомпонентное водоугольное топливо глубоко изучено учеными и результаты их экспериментов отражены в третьей статье. При подготовке водоугольного топлива использовались следующие компоненты [3]: 1) твердый компонент - длиннопламенный уголь (измельченный до фракции менее 100 мкм); 2) жидкий компонент - вода; 3) пластификатор - пирогенетическая жидкость (получается в процессе пиролиза древесины). Основные характеристики этих компонентов приведены в таблице 1:

Таблица 1. Характеристики компонентов ВУТ.

№	Состав ВУТ	плотность (кг/м ³)	pH	теплота сгорания (МДж/кг)
1.	вода	997	6,8	
2.	пирогенетическая жидкость	1044	2,3	2,8

№	Уголь	теплота сгорания (МДж/кг)	летучие вещества (%)	общ. сера (%)	углерод (%)	водород (%)	азот (%)	анал. вл. (%)	кислород (%)	зола (%)
		Q_{daf}^d	V_{daf}^d	S_t^d	C_t^d	H_t^d	N_t^d	W^a	O_t^d	A^d
1.	Длиннопламенный уголь	21,9	40,5	0,5	56,4	4	1	11,5	15,2	11,5

Для проведения эксперимента были предусмотрены вода и пластификаторы в разных пропорциях, соотношение угля не изменилось. Проведена кавитационная обработка при приготовлении водоугольного топлива. В ходе эксперимента при

изменении времени кавитационной обработки с 27 секунд до 90 секунд наблюдались изменения вязкости смеси и размера капель суспензии. Анализировали состояние приготовленной смеси через 3, 24 и 72 часа, т.е. исследовалась стабильность топлива. По формуле Д. И. Менделеева в каждом случае рассчитывали теплопроводность водоугольного топлива.

3. Результаты и анализ

Мы собрали необходимые нам данные для создания регрессионной модели и теперь помещаем результаты экспериментального исследования в электронную таблицу Excel (таблица 2).

Таблица 2. Значения, необходимые для регрессионной модели.

теплотворная способность ВУТ ((МДж/кг)	уголь (%)	вода (%)	пирогенетическая жидкость (%)	снижения динамической вязкости ВУТ (%)	снижение средних размеров капель (%)	расслоение ВУТ через 72 ч. (мл)
у	x1	x2	x3	x4	x5	x6
8,1	50	50	0	48	5,7	3
8,27	50	45	5	27	2,8	1
8,42	50	40	10	30	3,1	1
8,57	50	35	15	33	3,6	1
8,72	50	30	20	45	3,8	1

Главным свойством любого топлива является его теплотворная способность [4]. Поэтому теплотворная способность принималось в качестве переменной y . А остальные значения в таблице 2 – факторы, влияющие на основные свойства топлива.

Прежде всего, проверяется коллинеарность между факторами. Факторы не должны быть взаимно коррелированы. Для этого построим корреляционную матрицу используя возможности программы Excel. Из матрицы следует, что коллинеарность между факторами x_1, x_2, x_4, x_5 существуют и эти факторы исключаем из модели. Таким образом, будем строить регрессию y по факторам x_3, x_6 . Для этого в программе Excel есть функция «Регрессия» (таблица 3).

Таблица 3. Регрессионная статистика.

ВЫВОД ИТОГОВ									
Регрессионная статистика									
Множественный R		1							
R-квадрат		1							
Нормированный R-квадрат		1							
Стандартная ошибка	1,67403E-17								
Наблюдения		5							
Дисперсионный анализ									
		<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>			
Регрессия		2	0,23732	0,11866	4,234E+32	2,36169E-33			
Остаток		2	5,60476E-34	2,80238E-34					
Итого		4	0,23732						
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>	<i>Нижние 95,0%</i>	<i>Верхние 95,0%</i>	
У-пересечение	8,13	3,18726E-17	2,55078E+17	1,537E-35	8,13	8,13	8,13	8,13	
x3	0,03	1,4973E-18	2,00361E+16	2,491E-33	0,03	0,03	0,03	0,03	
x6	-0,01	1,32344E-17	-7,55608E+14	1,751E-30	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	

Из таблицы 3 следует, что уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$y = 8,13 + 0,03x_3 - 0,01x_6 \quad (1)$$

где, y - теплотворная способность водоугольного топлива, x_3 - пирогенетическая жидкость, x_6 - расслоение ВУТ через 72 ч.

Выполнение критериев Фишера и Стьюдента для созданной регрессионной модели видно из регрессионной статистики. Таким образом, построенное уравнение регрессии (1) значимо при уровне значимости $\alpha = 0,05$ [5].

Положительный коэффициент при переменной x_3 означает, что увеличение содержания пирогенетической жидкости в ВУТ ведет к увеличению теплотворной способности топлива. Отрицательный коэффициент при переменной x_6 указывает на обратную связь, чем больше наблюдается расслоение смеси через 72 часа, тем ниже теплотворная способность ВУТ. Постоянное значение 8,13 интерпретируется как базовое значение теплотворной способности ВУТ при отсутствии влияния факторов и оно совпало с первым значением y в табл.1.

4. Выводы

На основе результатов эксперимента создана регрессионная модель производства водоугольного топлива кавитационно-пластификационным методом и были выявлены следующие:

1. $y = 8,13 + 0,03x_3 - 0,01x_6$ - уравнение регрессии;
2. пропорция и тип пластификатора, устойчивость смеси в большей степени влияют на водоугольного топлива;
3. теплотворная способность водоугольного топлива прямо пропорциональна количеству пластификатора и обратно пропорциональна устойчивости смеси (расслоению).

Список литературы

1. Хрусталеv Б.М. Технология эффективного использования углеводородсодержащих отходов в производстве многокомпонентного твердого топлива / Б.М. Хрусталеv, А.Н. Пехота // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2016. – Т. 59. – № 2. – С. 122-140.
<https://doi.org/10.21122/1029-7448-2016-59-2-122-140>
2. Alekseenko S.V. Implementation of a three-stage scheme for the co-combustion of pulverized coal and coal-water slurry in an industrial boiler to reduce NOx emissions / S.V. Alekseenko, A.A. Dekterev, L.I. Maltsev, V.A. Kuznetsov // Process Safety and Environmental Protection. – 2023. – Vol. 169. – P. 313-327.
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.11.034>
3. Гвоздяков Д.В. Влияние кавитационной обработки на свойства водоугольных суспензий с добавками пирогенетической жидкости / Д.В. Гвоздяков, А.В. Зенков // iPolytech Journal. – 2023. – Т. 27. – № 2. – С. 297-309.
4. Тажикбаева С. Разработка компьютерной модели определения состава и качества композиционного топлива / С. Тажикбаева, Ы. Ташполотов // Бюллетень науки и практики. – 2024. – Т. 10. – №8. – С. 313-318. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/105/34>
5. Подкорытова О.А. Анализ временных рядов: учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры / О.А. Подкорытова, М.В. Соколов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2018. – 267 с.