

УДК 004.912+662.659

https://doi.org/10.33619/2414-2948/105/34

## РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА И КАЧЕСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО ТОПЛИВА

©*Тажикбаева С. Т.*, ORCID: 0009-0006-1025-1999, Ошский государственный университет,  
г. Ош, Кыргызстан, [stajikbaeva@oshsu.kg](mailto:stajikbaeva@oshsu.kg)

©*Ташполотов Ы.*, ORCID: 0000-0001-9293-7885, SPIN-код: 2425-6716, д-р физ.-мат. наук,  
Ошский государственный университет, г. Ош, Кыргызстан, [itashpolotov@mail.ru](mailto:itashpolotov@mail.ru)

## DEVELOPMENT OF A COMPUTER MODEL FOR DETERMINING THE COMPOSITE FUEL COMPOSITION AND QUALITY

©*Tazhikbaeva S.*, ORCID: 0009-0006-1025-1999, Osh State University,  
Osh, Kyrgyzstan, [stajikbaeva@oshsu.kg](mailto:stajikbaeva@oshsu.kg)

©*Tashpolotov Y.*, ORCID: 0000-0001-9293-7885, SPIN code: 2425-6716, Dr. habil.,  
Osh State University, Osh, Kyrgyzstan, [itashpolotov@mail.ru](mailto:itashpolotov@mail.ru)

*Аннотация.* В данной статье разработана компьютерная модель определения состава и качества композиционного топлива. В качестве объекта исследования рассматривалось водоугольное топливо. Эмпирические формулы были использованы для определения теплоты сгорания композиционного топлива и их результаты сопоставлены с экспериментальными данными. С помощью программы Python создана модель для определения состава и качества водоугольного топлива по формулам Менделеева и Нивела. По созданной компьютерной модели показано, что теплота сгорания водоугольного топлива в большей степени зависит от углерода, водорода и кислорода, чем от других компонентов в его составе. Уменьшение количества углерода и водорода в водоугольном топливе привело к уменьшению теплоты сгорания топлива. А также показано, что кислород и теплота сгорания обратно пропорциональны.

*Abstract.* This article develops a computer model for determining the composition and quality of composite fuel. Coal-water fuel was considered as the object of study. Empirical formulas were used to determine the calorific value of composite fuel, and their results were compared with experimental results. Using the Python program, a model was created to determine the composition and calorific value of coal-water fuel using the Mendeleev and Knievel formulas. According to the created computer model, it is shown that the calorific value of coal-water fuel depends to a greater extent on carbon, hydrogen and oxygen than on other components in its composition. The decrease in the amount of carbon and hydrogen in coal-water fuel led to a decrease in the heat of combustion of the fuel. It is also shown that oxygen and heat of combustion are inversely proportional.

*Ключевые слова:* уголь, водоугольное топливо, теплота сгорания, качество водоугольного топлива, эмпирические формулы, компьютерное моделирование.

*Keywords:* coal, coal-water fuel, calorific value, quality of coal-water fuel, empirical formulas, computer modeling.

Уголь — это вид ископаемого топлива, образовавшийся из растительных остатков в

результате биологических и геологических процессов на протяжении многих миллионов лет. Качество угля определяется его химическим составом, физическими свойствами и теплотворной способностью [1].

Химический состав угля включает в себя различные элементы и соединения, которые определяют его свойства и качество. Основные компоненты угля можно разделить на органическую и неорганическую части. Органическая часть: углерод (С), водород (Н), кислород (О), азот (N), сера (S). Неорганическая часть: зола. Минеральные элементы: к ним относятся кремний (Si), алюминий (Al), железо (Fe), кальций (Ca), магний (Mg), натрий (Na), калий (K), и другие элементы в меньших количествах. Дополнительные компоненты: влага, летучие вещества. Таким образом, высококачественный уголь характеризуется высокой теплотворной способностью, высоким содержанием углерода и низким содержанием влаги, золы и серы. В зависимости от качества угля определяется направление его использования. Различные типы угля имеют разные физико-химические свойства, что делает их более подходящими для определенных применений. Высококачественный уголь (антрацит и каменный уголь) обеспечивает более чистое и эффективное горение, что делает его предпочтительным для использования в электроэнергетике и промышленности. Низкокачественный уголь (бурый уголь и лигнит) используется в основном в местных энергетических системах и промышленности, где нет доступа к высококачественному углю. В итоге, направление использования угля тесно связано с его качеством, теплотворной способностью, содержанием влаги и примесей.

#### *Постановка задачи*

В то время, когда во всем мире проводится политика декарбонизации, эффективная использования угля в нашей стране является одним из актуальных вопросов современности. По данным Нацстаткома, за 11 месяцев прошлого года из Кыргызстана было экспортировано 2 543 000 т угля в следующие страны: Узбекистан, Казахстан, Китай, Турция, Польша, Венгрия, Словакия, Нидерланды, Румыния. Этот показатель значительно выше, чем в предыдущие годы. Но, переработка угля с использованием современных технологий принесет гораздо больше прибыли, чем его экспорт в чистом виде. Здесь ключевую роль играет качественный уголь и благоприятные экономические условия. По степени метаморфизма уголь Кыргызстана делится на две группы: каменный уголь и бурый уголь [2]. Они используются в основном для производства электроэнергии и местного отопления. Такое использование угля сопряжено с экологическими проблемами, такими как выбросы парниковых газов, загрязнение воздуха и образование отходов. Оптимальное использование угля с учетом экологических и экономических факторов требует применения технологий и методов, которые минимизируют вредное воздействие на окружающую среду и одновременно обеспечивают высокую эффективность и экономическую целесообразность.

Одним из эффективных методов переработки угля является разработка композиционного топлива в виде водоугольного топлива (ВУТ) путем смешивания измельченного угля, воды и пластификатора. Для разработки водоугольного топлива может быть использован уголь различных сортов. Однако оптимальными считаются угли с определенными характеристиками, которые обеспечивают стабильность суспензии и высокую теплотворную способность. Таким образом, *целью данной статьи* является разработка и исследование компьютерной модели определения теплоты сгорания водоугольного топлива. При выборе угля для производства водоугольного топлива важно учитывать следующие характеристики:

Теплотворная способность: высокая теплотворная способность угля обеспечивает

эффективное сжигание и высокую энергетическую ценность ВУТ.

Содержание влаги: низкое содержание влаги предпочтительно, так как высокая влажность угля может снижать теплотворную способность и стабильность суспензии.

Содержание золы: низкое содержание золы снижает количество отходов и улучшает характеристики горения.

Дисперсность: уголь должен быть измельчен до мелкой дисперсии для создания стабильной водоугольной суспензии. Таким образом, для разработки водоугольного топлива предпочтительнее использовать каменный уголь из-за его высокой теплотворной способности и низкого содержания влаги и золы. Однако бурый уголь также может быть использован, особенно в тех регионах, где он доступен и экономически выгоден. Поэтому первым шагом в разработке качественного водоугольного топлива является определение качества угля, который будет добавлен в его состав. Теплотворная способность или теплота сгорания угля — это количество тепла, которое выделяется при полном сгорании угля до оксидов углерода ( $CO_2$ ) и воды ( $H_2O$ ). Это основной показатель, который характеризует энергетическую ценность угля и его способность выделять тепло при сгорании. Она зависит от химического состава угля, включая содержание углерода, водорода, серы, кислорода и других элементов, а также от его физических свойств, таких как влажность и плотность. В системе MathCAD был автоматизирован процесс расчета теплопроводности угля по формуле Дюлонга и определена теплоты сгорания некоторых углей Кыргызстана [3]. Теплопроводность угля можно определить эмпирическими формулами [4].

Формула Дюлонга (Д):

$$Q_D^{daf} = 80,8C^{daf} + 345(H^{daf} - O^{daf}/8) \quad (1)$$

Формула Вондрачека (В):

$$Q_B^{daf} = (89,1 - 0,062C^{daf})C^{daf} + 270(H^{daf} - 0,1O^{daf}) + 25S_t^d \quad (2)$$

Формула Д.И. Менделеева (М):

$$Q_M^{daf} = 81C^{daf} + 300H^{daf} + 26(S_t^d - O^{daf}) \quad (3)$$

Формула Нивела (Н):

$$Q_H^{daf} = 81,05C^{daf} + 316,4H^{daf} - 29,9O^{daf} + 23,9S_t^d - 3,5A^d \quad (4)$$

Формула Гивена (Г):

$$Q_G^{daf} = 78,3C^{daf} + 339,1H^{daf} - 33O^{daf} + 22,1S_t^d + 152 \quad (5)$$

где,  $C^{daf}$ ,  $H^{daf}$ ,  $O^{daf}$ ,  $S_t^d$ ,  $A^d$  — содержание углерода, водорода, кислорода, общей серы и золы на сухое топливо соответственно. В [3] показано, что результаты, полученные по третьей и четвертой формулам, на высоком уровне характеризуют результаты эксперимента.

#### Решение задачи

Используя этот результат, рассмотрим теплопроводности некоторых углей Кыргызстана (Таблица) [5]. Качество и безопасность угля должны соответствовать следующим межгосударственным стандартам [6]: ГОСТ 32464-2013 «Угли бурые, каменные и антрацит. Общие технические требования»; ГОСТ 32543-2013 «Угли и продукты их переработки. Порядок подтверждения соответствия». Основная цель этих стандартов является регулирование зольности угля.

Таблица

ХАРАКТЕРИСТИКИ УГЛЕЙ

№	Уголь Кыргызстана	теплота сгорания (МДж/кг)	летучие вещества (%)	общ. сера (%)	углерод (%)	водород (%)	азот (%)	анал. вл. (%)	кислород (%)	зола (%)
		$Q_{daf}$	$V_{daf}$	$S_t^d$	$C_t^d$	$H_t^d$	$N_t^d$	$W^a$	$O_t^d$	$A^d$
1.	Сулукту	26,7788	30,54	0,6	76,8	4,07	1,94	9,93	23,14	21,3
2.	Кызыл-Кыя	26,5736	40,41	2,92	71,15	4,36	1,36	10,2	17	18,79
3.	Бешбурхан	26,092	38,38	2,33	70,63	4,71	1,06	7,04	21,09	21,44
4.	Кара-Кече	28,256	34,45	0,46	77,59	4,1	1,32	9,68	16,53	10,24
5.	Джергалан	30,111	37,625	0,82	79,06	4,68	1,175	1,735	14,215	11,84
6.	Кожо-Келен	30,216	47	0,6	77,5	5,5	1,3	8,7	15,1	10,4
7.	Кызыл-Булак	30,208	44	0,9	78,3	5,1	1,4	7,8	14,3	9,1

Для переработке угольной продукции в КНР разработаны специальные единые требования: качественный уголь должен соответствовать следующим условиям:  $A^d \leq 30\%$  (зола) для бурого угля,  $A^d \leq 40\%$  для каменного угля;

$$S_t^d \leq 1,5\% \text{ для бурого угля, } S_t^d \leq 3\% \text{ для каменного угля} \quad (6)$$

Для углей, представленных в таблице 1, выполнены условия 6, т.е. качество представленных в статье углей соответствует предъявляемым требованиям. Следовательно, эти угли можно использовать для получения высококачественного водоугольного топлива. Однако возникают следующий вопрос: одинакова ли теплота сгорания самого угля и теплота сгорания водоугольного топлива, приготовленного из него?

Результаты численных расчетов

Чтобы получить ответ на этот вопрос, нам нужно воспользоваться тем, что теплота сгорания угля зависит от его состава. Поэтому разработаем водоугольное топливо из угля, химический состав которого известен (Таблица 1, уголь Сулукту) и создадим компьютерную модель для определения его состава и теплоту сгорания: 60% — уголь, 39% — вода, 1% — гумат натрия. Компьютерная модель реализована с помощью программы Python. Если в качестве пластификатора взять гумат натрия, то состав водоугольного топлива определялся с помощью компьютерной модели следующим образом:

```
Состав водоугольного топлива (в процентах):
S: 0.36
A: 12.78
W: 44.96
N: 1.18
O: 14.33
Na: 0.05
C: 46.48
H: 2.49
```

Теперь находим теплоту сгорания самого угля и водоугольного топлива:

```
Теплота сгорания угля: 28.68 МДж/кг
Теплота сгорания водоугольного топлива: 17.36 МДж/кг
```

Сравним состав водоугольного топлива с составом угля:

№	Уголь Кыргызстана	теплота сгорания (МДж/кг)	летучие вещества (%)	общ. сера (%)	углерод (%)	водород (%)	азот (%)	анал. вл. (%)	кислород (%)	зола (%)
		$Q_{daf}$	$V_{daf}$	$S_t^d$	$C_t^d$	$H_t^d$	$N_t^d$	$W^a$	$O_t^d$	$A^d$
1.	Сулукту	26,7788	30,54	0,6	76,8	4,07	1,94	9,93	23,14	21,3

Таким образом, при добавлении воды и пластификатора в состав угля для создания водоугольного топлива, происходят определенные изменения в его физическом и химическом составе. Основные изменения заключаются в увеличении содержания воды, снижении концентрации углерода, серы, золы и других компонентов угля. В “Көмүрдүн күйүү жылуулугунун анын теплофизикалык параметрлеринен көз карандылыгын компьютердик моделдештирүү” было показано, что теплота сгорания угля в большей степени зависит от углерода, водорода и кислорода [5]. Уменьшение количества углерода и водорода в водоугольном топливе приводит к уменьшению теплоты сгорания топлива. Кислород и теплота сгорания обратно пропорциональны. По результатам программы было показано, что теплота сгорания самого угля составляет 28,68 МДж/кг, а теплота сгорания изготовленного с его помощью композиционного топлива — 17,36 МДж/кг. т.е. теплотворная способность композиционного топлива снизилась. Однако, снижением концентрации серы и золы, качество состава композиционного топлива возросло по сравнению с качеством состава угля. Здесь была реализована одна из главных целей эффективного использования угля.

### *Результаты и обсуждения*

Несмотря на снижение калорийности водоугольного топлива, его приготовление имеет несколько значительных преимуществ:

*Экономические преимущества:* поскольку Кыргызстан имеет большие водные ресурсы, их использование экономически выгодно. Таким образом, ВУТ является более экономичным по сравнению с чистым углем.

*Экологические преимущества:* вода способствует снижению температуры горения, что ведет к уменьшению выбросов оксидов азота и твердых частиц. Также вода способствует более полному сгоранию угля, что уменьшает выбросы угарного газа и несгоревших углеродных частиц. ВУТ менее пылит при транспортировке и хранении, что улучшает экологическую обстановку и условия труда на предприятиях.

*Улучшенные условия транспортировки и хранения:* ВУТ менее подвержено самовозгоранию, чем сухой уголь, что повышает безопасность при хранении и транспортировке.

*Повышение эффективности сжигания:* вода в ВУТ способствует равномерному распределению угольных частиц в топке, что приводит к более равномерному и полному сгоранию топлива. Более низкие температуры горения уменьшают вероятность образования шлаков и накипи в котлах. Эти преимущества делают водоугольное топливо привлекательным для различных промышленных применений, несмотря на снижение калорийности.

### *Вывод*

В среде Python с помощью эмпирических формул Менделеева и Нивела был автоматизирован процесс расчета состава водоугольного топлива и теплоты сгорания, а также создана компьютерная модель. С помощью созданной компьютерной модели определялись качества любого угля, элементный состав которого известен, и свойства водоугольного топлива, получаемого с его помощью.

### *Список литературы:*

1. Августевич И. В., Сидорук Е. И., Броневец Т. М. Стандартные методы испытания углей. Классификации углей. М.: Реклама мастер, 2018. 576 с.
2. Солпуев Т. С. Угольные месторождения Кыргызской Республики. Бишкек, 1996. 511

с.

3. Тажикбаева С. Т. Көмүрдүн теплофизикалык параметрлерин аныктоонун компьютердик модели // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2022. №2. С. 51-55,

4. Федорова Н. И., Михайлова Е. С., Исмагилов З. Р. Зависимость теплоты сгорания углей от их химического состава // Химия в интересах устойчивого развития. 2015. №23. С. 135-138. <https://doi.org/10.15372/KhUR20150205>

5. Тажикбаева С. Көмүрдүн күйүү жылуулугунун анын теплофизикалык параметрлеринен көз карандылыгын компьютердик моделдештирүү // Известия НАН КР. 2022. №5. С. 133-140,

6. Эпштейн С. А., Шинкин В. К. Показатели качества углей для разных направлений использования // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. №4. С. 5-16. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_4\\_05](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_4_05)

#### References:

1. Avgushevich, I. V., Sidoruk, E. I., & Bronovets, T. M. (2018). Standartnye metody ispytaniya uglei. Klassifikatsii uglei. M.: Reklama master, 576 s. (in Russian).

2. Solpuev, T. S. (1996). Ugol'nye mestorozhdeniya Kyrgyzskoi Respubliki. Bishkek. (in Russian).

3. Tazhikbaeva, S. T. (2022). Көмүрдүн теплофизикалык параметрлерин аныктоонун компьютердик модели. *Nauka, novye tekhnologii i innovatsii Kyrgyzstana*, (2), 51-55, (in Kyrgyz).

4. Fedorova, N. I., Mikhailova, E. S., & Ismagilov, Z. R. (2015). Zavisimost' teploty sgoraniya uglei ot ikh khimicheskogo sostava. *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya*, (23), 135-138. (in Russian). <https://doi.org/10.15372/KhUR20150205>

5. Tazhikbaeva, S. (2022). Komp'yuternoe modelirovanie ugol'nogo dvigatelya vnutrennego sgoraniya na osnove teplofizicheskikh parametrov. *Izvestiya NAN KR*, (5), 133-140, (in Russian).

6. Epshtein, S. A., & Shinkin, V. K. (2022). Pokazateli kachestva uglei dlya raznykh napravlenii ispol'zovaniya. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, (4), 5-16. (in Russian). [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_4\\_05](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_4_05)

Работа поступила  
в редакцию 10.07.2024 г.

Принята к публикации  
21.07.2024 г.

#### Ссылка для цитирования:

Тажикбаева С. Т., Ташполотов Ы. Разработка компьютерной модели определения состава и качества композиционного топлива // Бюллетень науки и практики. 2024. Т. 10. №8. С. 313-318. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/105/34>

#### Cite as (APA):

Tazhikbaeva, S. & Tashpolotov, Y. (2024). Development of a Computer Model for Determining the Composite Fuel Composition and Quality. *Bulletin of Science and Practice*, 10(8), 313-318. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/105/34>

