УДК 004.912+662.659

Тажикбаева Санайым Тойгонбаевна,
ст.преподователь,
Ошский государстенный университет
Тажикбаева Санайым Тойгонбаевна,
ага окутуучу,
Ош мамлекеттик университети
Tazhikbaeva Sanayym Toygonbaevna,
senior lecturer,
Osh State University

КӨМҮРДҮН КҮЙҮҮ ЖЫЛУУЛУГУНУН АНЫН ТЕПЛОФИЗИКАЛЫК ПАРАМЕТРЛЕРИНЕН КӨЗ КАРАНДЫЛЫГЫН КОМПЬЮТЕРДИК МОДЕЛДЕШТИРҮҮ

Аннотация. Илимдин жана техниканын дээрлик бардык тармактарында татаал системаларды окуп-үйрөнүүдө компьютердик моделдөөнүн методдорун колдонуу зарыл шарттардан болуп эсептелинет. Мында заманбап кубаттуу эсептөөчү методдордун жардамында объектти (көрүнүш, процесс) терең, толук жана көргөзмөлүү изилдөө мүмкүнчүлүгү жаралат.

Бул макалада регрессиондук анализдин жардамында көмүрдүн күйүү жылуулугунун анын теплофизикалык параметрлеринен болгон көз карандылыгын мүнөздөгөн математикалык модель түзүлдү. Моделдөөдө Кыргызстандын 7 түрдүү көмүрүнө окумуштуулардын жүргүзгөн изилдөөлөрүнүн жыйынтыктары колдонулду. «Эң кичинекей квадрат» методу аркылуу регрессиянын параметрлерин баалоо жүргүзүлдү. Түзүлгөн регрессиондук модель тактыкка, сапатка текшерилди жана Фишердин, Стьюденттин критерийлеринин жардамында регрессия теңдемесинин жана анын коэффициенттеринин статистикалык маанилүүлүгү бааланды. Ал эми эксперименталдык ыкма менен алынган жыйынтыктар MathCAD системасында түзүлгөн компьютердик моделде далилденди.Жыйынтыгында, түзүлгөн компьютердик моделдин жардамында көмүрдүн сапатын аныктоо жана сапатын жогорулатууга прогноздоо жүргүзүү мүмкүнчүлүгү жаралды.

Негизги сөздөр: көмүрдүн күйүү жылуулугу, көмүрдүн теплофизикалык параметрлери, регрессиондук модель, компьютердик модель.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ УГЛЕЙ ОТ ИХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Аннотация. Использование методов компьютерного моделирования при исследовании сложных систем практически во всех областях науки и техники является обязательным условием. Здесь, с помощью современных мощных вычислительных методов можно глубоко, детально и наглядно изучить объект (явление, процесс).

В данной статье с помощью регрессионного анализа разработана математическая модель, описывающая зависимость теплоты сгорания угля от его теплофизических параметров. При моделировании использовались результаты исследований, проведенных учеными на 7 видах углей Кыргызстана.

Параметры регрессии оценивались методом наименьших квадратов. Разработанная регрессионная модель была проверена на точность и качество, а статистическая значимость уравнения регрессии и его коэффициентов оценены с использованием критериев Фишера и Стьюдента. Результаты экспериментального метода подтверждены на компьютерной модели, созданной в системе MathCAD.

В результате, с помощью созданной компьютерной модели удалось определить качество угля и сделать прогноз по улучшению его качества.

Ключевые слова: теплота сгорания угля, теплофизические параметры угля, регрессионная модель, компьютерная модель.

COMPUTER SIMULATION OF COAL COMBUSTION THEIT DEPENDENCE ON THEIR THERMOPHISICAL PARAMETERS

Abstract. The use of computer simulation methods in the study of complex systems in almost all areas of science and technology is a prerequisite. Here, with the help of modern powerful computational methods, one can deeply, in detail and visually study an object (phenomenon, process).

In this article, using regression analysis, a mathematical model has been developed that describes the dependence of the heat of combustion of coal on its thermophysical parameters. When modeling, the results of studies conducted by scientists on 7 types of coals in Kyrgyzstan were used.

The regression parameters were estimated using the least squares method. The developed regression model was tested for accuracy and quality, and the statistical significance of the regression equation and its coefficients were evaluated using Fisher and Student's criteria. The results of the experimental method were confirmed on a computer model created in the MathCAD system.

As a result, with the help of the created computer model, it was possible to determine the quality of coal and make a forecast for improving its quality.

Keywords: calorific value of coal, thermophysical parameters of coal, regression model, computer model.

Көптөгөн миллиондогон жылдар бою жаратылыш көмүртектин запастарын көмүр, нефть жана табигый газ түрүндө топтоп келген. Отундун мындай түрлөрү адамзат тарабынан энергия жана химиялык продуктыларды алуу үчүн колдонулуп келүүдө.

Казылып алынган көмүрлөр курамы жана структурасы боюнча татаал система. Көмүрдүн курамына карап анын маркасын, сапатын жана кайрадан иштетүүнүн рационалдуу жана эффективдүү методдорун аныктоого мүмкүн. Көмүрдүн сапатын аныктоочу эң негизги көрсөткүч – бул, анын күйүү жылуулугу [1].

Көмүрдүн күйүү жылуулугун эксперименталдык жана эсептөө методдорунун жардамында аныктоого болот. Эсептөө методу көмүрдүн техникалык жана элементтик анализинин жыйынтыктары боюнча жүргүзүлөт.

Көмүрдүн органикалык массасынын курамына көмүртек, суутек, азот, кычкылтек жана сера кирет. Күйүү жылуулугу менен көмүрдүн элементтик курамынын байланышынын негизинде эсептөөлөрдү жүргүзүүдө зарыл болгон көптөгөн формулалар окумуштуулар тарабынан иштелип чыгылган. Алгачкы эсептөө методикасы элементтик курам боюнча күйүү жылуулугун эсептөөгө негизделген жана ушул метод эң көп колдонулган методдордон болуп саналат. Анын негиздери белгилүү химия илимдеринин окумуштуусу Пьер Луи

Дюлонг (1785-1838) тарабынан иштелип чыгылган [2].

[3] макалада Кыргызстандын көмүр кендеринин ичинен мисал катары, Кара-Кече, Сүлүктү, Бешбурхан көмүрлөрүнүн күйүү жылуулугун аныктоо MathCAD системасында жүргүзүлүп, көмүрлөрдүн теплофизикалык параметрлерин аныктоонун компьютердик модели түзүлгөн.

Бул макалада алынган жыйынтыктарды улантып, көмүрдүн күйүү жылуулугу көз каранды болгон параметрлерди изилдөө жана көз карандылыкты аныктоонун математикалык моделин регрессиондук анализдин негизинде алуу - бул макаланын максаты болуп алынды.

Эксперименталдык жол менен көмүрдүн касиеттерин изилдөөдөн алынган берилгендерди анализдөө үчүн процессти мүмкүн болушунча реалдуу баяндаган регрессиондук анализдин методдорун колдонуу зарыл [4]. Регрессиондук анализдин жардамында көмүрдүн күйүү жылуулугунун анын курамындагы көмүртек, суутек, азот, кычкылтек жана серадан болгон көз карандылыгын мүнөздөгөн функция аныкталат.

Көз карандылыкты моделдөө үчүн Кыргызстандын түрдүү аймактарында жайгашкан көмүрлөргө окумуштуулардын жүргүзгөн эксперименттеринин жыйынтыктары пайдаланылды [5], [6], [7] (1-таблица).

Берилгендерди кайрадан иштеп чыгуу үчүн MS Excel программасынын атайын статистикалык функциялары колдонулат.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
№	көмүр кени	күйүү жылуулугу Q^daf, МДж/кг	учуп чыгуучу заттар V^daf, %	сера St^d, %	көмүртек Ct^d, %	суутек Ht^d, %	азот Nt^d, %	аналитикалык нымдуулук W^a, %	кычкылтек Ot^d,%	зола A^d, %
		y	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8
1.	Сүлүктү	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

1-таблица. Кыргызстандын көмүр кендери

Алгач, факторлордун ортосундагы коллинеардуулукту аныктоо зарыл

(2-таблица)

	y	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8
y	1								
x1	0,554249241	1							
x2	-0,635750102	0,135263377	1						
x3	0,819945329	0,014666863	-0,9230925	1					
x4	0,651668067	0,91217556	-0,1077085	0,19610961	1				
x5	-0,190233849	-0,489972759	-0,3448493	0,24984901	-0,42199882	1			
x6	-0,458398008	-0,072701916	0,13611234	-0,32640348	-0,26178188	0,49795506	1		
x7	-0,830808898	-0,664090488	0,20684388	-0,48415285	-0,54459703	0,49179262	0,392667312	1	
x8	-0,905259744	-0,500684908	0,59596529	-0,74547334	-0,48318153	0,27490838	0,243917769	0,878564463	1

2-таблица. Корреляциялык матрица

2-таблицадан көрүнгөндөй, x_1 жана x_4, x_2 жана x_3, x_7 жана x_8 факторлору өз-ара коллинеардуу болуп калышты. Регрессиондук моделдин курамында коллинеардуу факторлор болушу мүмкүн эмес. Ошондуктан, бул факторлордун ичинен y өзгөрүлмөсү менен корреляциясы начар болгон факторду кыскартуу зарыл болот. Биздин учурда x_1, x_7, x_2 факторлору кыскартылат. О.э. x_5, x_6 факторлорунун y өзгөрүлмөсү менен болгон корреляция коэффициенттери $r_{x_i y} \geq 0,5$ шартын канааттандырышкан жок. Демек, учуп чыгуучу заттар, сера, азот, нымдуулук жана зола курамдагы башка заттарга караганда көмүрдүн күйүү жылуулугуна азыраак таасирин тийгизишет.

Ыңгайлуулук үчүн факторлорду кайрадан башынан номерлеп, 3-таблицага ээ болобуз.

№	көмүр кени	күйүү жылуулугу Q^daf, МДж/кг	көмүртек Ct^d, %	суутек Ht^d, %	кычкылтек Ot^d,%
		y	x1	x2	x3
1.	Сүлүктү	26,7788	76,8	4,07	23,14
2.	Кызыл-Кыя	26,5736	71,15	4,36	17
3.	Бешбурхан	26,092	70,63	4,71	21,09
4.	Кара-کече	28,256	77,59	4,1	16,53
5.	Джергалан	30,111	79,06	4,68	14,215
6.	Кожо-Келен	30,216	77,5	5,5	15,1
7.	Кызыл-Булак	30,208	78,3	5,1	14,3

3-таблица. Коллинеардуу факторлор кыскартылып, таблицанын жаңыланышы

3-таблица боюнча факторлорду дагы бир жолу коллинеардуулукка текшерип алалы (4-таблица)

	y	x1	x2	x3
y	1			
x1	0,819945329	1		
x2	0,651668067	0,196109611	1	
x3	-0,830808898	-0,484152849	-0,544597	1

4-таблица. Факторлордун ортосундагы корреляция

Мында, бардык факторлордун ортосундагы корреляция коэффициенттери $r_{x_i x_j} < 0,8$ шартын канааттандырышат, демек өз ара коллинеардуу болушкан факторлор жок.

Көмүрдүн күйүү жылуулугуна күчтүү таасирин тийгизүүчү факторлордон көз карანды болгон көп өзгөрүлмөлүү регрессия теңдемесин жазуу максатында Excel программасынын мүмкүнчүлүгүнөн пайдаланылат (5-таблица).

Регрессиондук статистика	
R - корреляциянын индекси	0,999023473
Rкв.- детерминациянын коэффициенти	0,9980479
Норм. Rквадрат	0,9960958
Стандарттык ката	0,116227127
Байкоо	7

Дисперсиондук анализ

	df	SS	MS	F	F маанилүүлүгү
Регрессия	3	20,71980214	6,906600714	511,268859	0,000146335
Калдык	3	0,040526235	0,013508745		
Жалпы	6	20,76032838			

	Коэффициент-тер	Стандарттык ката	t-статистика	P-маани	Төмөнкү 95%	Жогорку 95%
Y-кесилишүү	2,765214715	1,54820003	1,78608362	0,17206357	-2,161848751	7,692278182
x1	0,308373459	0,015689051	19,65532839	0,00028774	0,258443895	0,358303023
x2	1,199755345	0,108267062	11,08144363	0,00157432	0,855201233	1,544309456
x3	-0,196850298	0,018317584	-10,74652077	0,00172303	-0,255145025	-0,13855557

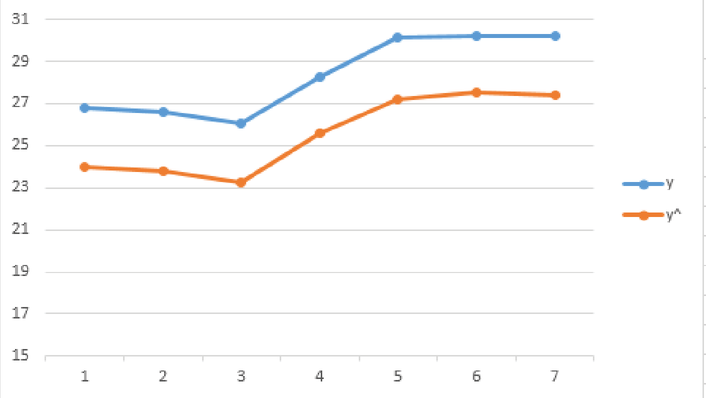
5-таблица. Регрессиондук статистиканын жыйынтыгы

5-таблицанын жыйынтыгы боюнча карасак, сызыктуу регрессия теңдемесинин b_1, b_2, b_3 коэффициенттери статистикалык маанилүү, ал эми a коэффициенти үчүн Стьюденттин критерийи аткарылган жок, б.а. $0{,}172 > 0{,}05$. Ошентип, көмүрдүн күйүү жылуулугунун анын теплофизикалык параметрлеринен болгон көз карандылыгын мүнөздөгөн сызыктуу функция төмөнкү көрүнүшкө ээ болду:

$$y = 0.308x_1 + 1.199x_2 - 0.196x_3. \quad (1)$$

Түзүлгөн регрессиондук модель тактыгы жана сапаты жагынан бардык талаптарга жооп берди жана жыйынтыктардын графиктик чагылдырылышы 1-сүрөттө келтирилди.

күйүү жылуулугу Q^daf, МДж/кг	регрессиондук модель
y	y^
26,7788	23,99889
26,5736	23,80984
26,092	23,26769
28,256	25,57374
30,111	27,17566
30,216	27,5049
30,208	27,4285
198,2354	178,75922
28,31934286	25,53703143



1-сүрөт. $y = f(x)$жана $\hat{y} = f(x)$ функцияларынын графиктери

(1) – тендемеден төмөнкүдөй жыйынтык алууга болот: көмүртектин жана суутектин өлчөмүн чоңойтуп, ал эми кычкылтектин өлчөмүн азайтуу менен көмүрдүн күйүү жылуулугунун маанисин чоңойтууга мүмкүн. Б.а. көмүртектин, суутектин жана кычкылтектин өлчөмдөрүн 1%га чоңойтуп же кемитүү менен көмүрдүн күйүү жылуулугунун мааниси кандай өзгөрүшүн Э – ийкемдүүлүк коэффициенти аркылуу аныктоого болот. Ал үчүн жекече регрессиондук теңдемелерди түзүп, анын негизинде ийкемдүүлүктүн жекече коэффициенттерин аныктоо максатында төмөнкү формулалардан пайдаланабыз[4]:

$$y_{y,x_1} = A_1 + b_1 x_1, \qquad y_{y,x_2} = A_2 + b_2 x_2, \qquad y_{y,x_3} = A_3 + b_3 x_3, \tag{2}$$

$$A_1 = a + b_2 \bar{x}_2 + b_3 \bar{x}_3, \qquad A_2 = a + b_1 \bar{x}_1 + b_3 \bar{x}_3, \qquad A_3 = a + b_1 \bar{x}_1 + b_2 \bar{x}_2 \tag{3}$$

$$Э_{yx_i} = b_i \frac{x_i}{y_{y,x_i}}, \qquad i = 1,2,3. \tag{4}$$

$$\bar{Э}_{yx_i} = b_i \frac{\bar{x}_i}{\bar{y}_{y,x_i}}, \qquad i = 1,2,3 \tag{5}$$

Алгач, (3)–формуланы колдонобуз: $A_1 = 2{,}171;$ $A_2 = 19{,}966;$ $A_3 = 28{,}935.$
Табылган маанилерди (2)-формулага коюп, жекече регрессиондук теңдемелерди түзөбүз:

$$\begin{cases} y_{y,x_1} = 2{,}171 + 0.308x_1, \\ y_{y,x_2} = 19{,}966 + 1{,}199x_2, \\ y_{y,x_3} = 28{,}935 - 0.196x_3. \end{cases} \tag{6}$$

(6)–теңдемелерди жана (4)–формуланы пайдаланып, ийкемдүүлүктүн жекече коэффициенттери аныкталат:

$$\begin{cases} Э_{yx_1} = b_1 \frac{x_1}{y_{y,x_1}} = 0{,}308 \frac{x_1}{2.171 + 0.308x_1}, \\ Э_{yx_2} = b_2 \frac{x_2}{y_{y,x_2}} = 1.199 \frac{x_2}{19{,}966 + 1{,}199x_2}, \\ Э_{yx_3} = b_3 \frac{x_3}{y_{y,x_3}} = -0.196 \frac{x_3}{28{,}935 - 0.196x_3}. \end{cases} \tag{7}$$

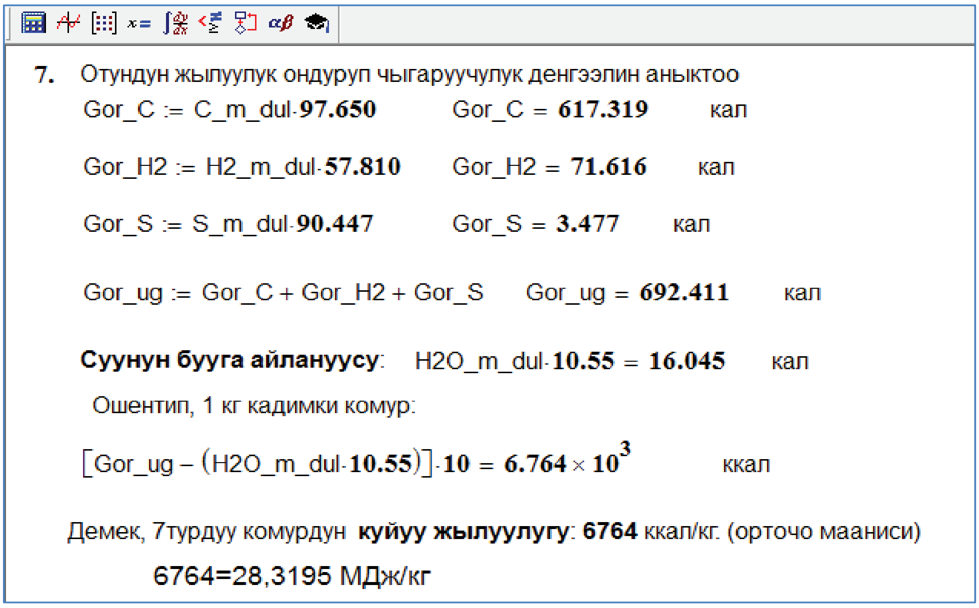
Ал эми (5)–формуланын негизинде ийкемдүүлүктүн орточо жекече коэффициенттерин табалы:

$$\begin{cases} \bar{Э}_{yx_1} = b_1 \frac{\bar{x}_1}{\bar{y}_{y,x_1}} = 0{,}825\% \\ \bar{Э}_{yx_2} = b_2 \frac{\bar{x}_2}{\bar{y}_{y,x_2}} = 0{,}196\% \\ \bar{Э}_{yx_3} = b_3 \frac{\bar{x}_3}{\bar{y}_{y,x_3}} = -0.120\% \end{cases} \tag{8}$$

Демек, көмүртекти 1%га көбөйтсөк күйүү жылуулугу орточо 0,825% га жогорулайт, суутекти 1%га көбөйтсөк күйүү жылуулугу орточо 0,196% га жогорулайт, ал эми кычкыл-

текти 1%га азайтсак, күйүү жылуулугу орточо 0,120% га жогорулайт. Мында, тиешелүү фактордун өлчөмүн өзгөрткөндө, калган факторлордун мааниси өзгөрүүсүз каралат.

Бул алынган жыйынтыкты [1] макалада түзүлгөн компьютердик моделдин жардамында текшерсек, төмөнкүгө ээ болобуз:



2-сүрөт. Көмүрдүн күйүү жылуулугунун MathCAD системасында эсептелиниши

Компьютердик моделдин жардамында алынган маани 6724=28,3195 МДЖ/кг эксперименталдык жол менен алынган мааниге дал келгенин 1–сүрөттөгү жыйынтыктан көрүүгө болот.

Эми, моделдеги көмүртек, суутек жана кычкылтектин маанилерин 1%га өзгөртсөк, төмөнкү жыйынтыкка ээ болобуз:

Факторлор	Факторду 1%га өзгөртүү	Көмүрдүн орточо күйүү жылуулугунун өзгөрүшү
Көмүртек	75,861+1%(0,758)=76,620	6826=6764+0,917%
Суутек	4,645+1%(0,046)=4,691	6777=6767+0,192%
Кычкылтек	17,339-1%(0,173)=17,165	6771=6764+0,104%

Мында да, ийкемдүүлүк коэффициенти аркылуу аныкталган параметрлердин өзгөрүү проценттери MathCAD системасында түзүлгөн компьютердик моделде далилденди.

Жыйынтыктап айтсак, көмүрдүн сапатын жогорулатуу үчүн анын курамындагы көмүртек жана суутекти байытууну пиролиз методу менен жүргүзүү максатка ылайыктуу болот.

Адабияттар

1. *Авгушевич И.В., Сидорук Е.И., Броновец Т. М.* Стандартные методы испытания углей. Классификации углей. - М.: ≪Реклама мастер≫, 2018. - 576 с.

2. *Грум-Гржимайло В.Е.* Пламенные печи. – Ленинград.: Учебно-техническое издательство КУБУЧ, 1932. - 484с.

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

4. *Шанченко, Н. И.* Эконометрика: лабораторный практикум: учебное пособие / Н. И. Шанченко. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 117 с.

5. *Камбарова Г. Б., Кенчи кызы Э.* Химико-технологическая характеристика углей месторождений Кара-Кече и Ак-Улак Кавакского буроугольного бассейна // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2016. - № 7. - С. 117-120.

6. *Джапарова Ш.* Химико-технологические свойства углей месторождения Бешбурхан и их газификация. Дисс.канд.хим.наук.-Бишкек, 1997. 22с.

7. *Солпуев Т. С.* Угольные месторождения Кыргызской Республики. Справочник. - Бишкек: «Наси» (МинГео КР), 1996. — 511 с.