

УРАВНЕНИЕ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОПЛИВА - ОТХОДОВ РАСТЕНИЕВОДСТВА

В.П.Барышев, к.т.н., доц., Ж.В.Димитрова, к.т.н., проф.

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
Украина*

В настоящей работе для получения уравнения использовались данные по высшей теплоте сгорания и элементарному составу в сухом состоянии для отходов растениеводства: соломы пшеницы, ржи, ячменя; стеблей кукурузы, подсолнечника, лузги семян подсолнечника и т.д. Объем выборки составил 31 точку.

В качестве основы для получения единого уравнения взято уравнение следующей формы:

$$Q_3^C = b_1 * C^C + b_2 * H^C + b_3 * (O^C + N^C) + b_4 * S^C + b_5 * A^C. \quad (1)$$

где Q_3^C - высшая теплота сгорания в сухом состоянии; $C^C, H^C, O^C, N^C, S^C, A^C$ - массовое содержание углерода, водорода, кислорода, азота и зольность в сухом состоянии топлива, %.

Уравнение (1) является полиномом первой степени пяти независимых переменных и может быть записано в следующем виде:

$$\hat{y} = b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + b_3 * x_3 + b_4 * x_4 + b_5 * x_5. \quad (2)$$

где $x_1 = C^C, x_2 = H^C, x_3 = (O^C + N^C), x_4 = S^C, x_5 = A^C$.

Для выбора окончательного вида, определения значений коэффициентов и оценки статистической значимости уравнений и их коэффициентов использовался множественный линейный регрессионный анализ. Коэффициенты уравнения находились методом наименьших квадратов. Все вычисления проводились в среде MathCad.

Результаты вычислений показали, что в уравнении (2) значимыми являются только коэффициенты b_1, b_2, b_3 . Таким образом, окончательная форма уравнения приобретает следующий вид:

$$\hat{y} = b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + b_3 * x_3. \quad (3)$$

Для выбранного уравнения были рассчитаны ранг и число обусловленности матрицы: ранг матрицы 3; число обусловленности матрицы $1,649 * 10^4$.

Коэффициенты уравнения (3) приведены в таблице 1.

Таблица 1. - Значения коэффициентов уравнения (3)

b_1	b_2	b_3
0,3230	1,342	-0,09757

Проверка статистической значимости уравнения множественной регрессии и коэффициентов уравнения дала результаты, приведенные в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. - Результаты расчетов проверки значимости уравнения (3)

Q	Q_e	Q_r	$R^2_{ск}$	F	$F_{0,95;2;36}$
14 7,8	8,478	139,4	0,9390	295,9	3,259

Значение коэффициента $R^2_{ск}$ показывает, что переменная Y достаточно хорошо описывается включенными в регрессионную модель переменными x_1, x_2, x_3 . Так как, неравенство $F > F_{0,95;2;36}$ выполняется для регрессионной модели, то с уровнем значимости $\alpha = 0.05$ можно сделать вывод о значимости построенного уравнения регрессии.

Результаты проверки значимости коэффициентов b_j уравнения (3) приведены в таблице 3.

Таблица 3. - Результаты расчетов значимости коэффициентов уравнения (3)

$t(0.95,36)$	$ T_{b_1} $	$ T_{b_2} $	$ T_{b_3} $
1,688	14,096	8,403	7,525

Рассчитанные значения стандартизованных коэффициентов уравнения (3) приведены в таблице 4.

Таблица 4. - Значения стандартизованных коэффициентов уравнения регрессии (3)

bst_1	bst_2	bst_3
0,5268	0,4181	-0,1847

Коэффициенты эластичности для уравнения (3) рассчитывались по формулам:

$$E_1 = b_1 \frac{\bar{x}_1}{\bar{y}}; E_2 = b_2 \frac{\bar{x}_2}{\bar{y}}; E_3 = b_3 \frac{\bar{x}_3}{\bar{y}}.$$

Полученные значения коэффициентов эластичности приведены в таблице 5.

Таблица 5. - Коэффициенты эластичности для уравнения (3)

E_1	E_2	E_3
0,806	0,412	-0,218

Для уравнения (3) получены следующие интервальные оценки коэффициентов β_j : для β_1 (0,276; 0,369); для β_2 (1,018; 1,667); для β_3 (-0,124; -0,071).

Получены следующие результаты описания исходных данных уравнением (3).

1. Значение несмещенной оценки дисперсии

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{39} (y_i - \hat{y}_i)^2}{36} = 0,235$$

где \hat{y}_i - рассчитанное по уравнению (3), значение отклика в i -ой точке данных;

2. Значение среднеквадратического отклонения

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{39} \left[\frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{y_i} \right]}{36}} * 100 = 0,45\%$$

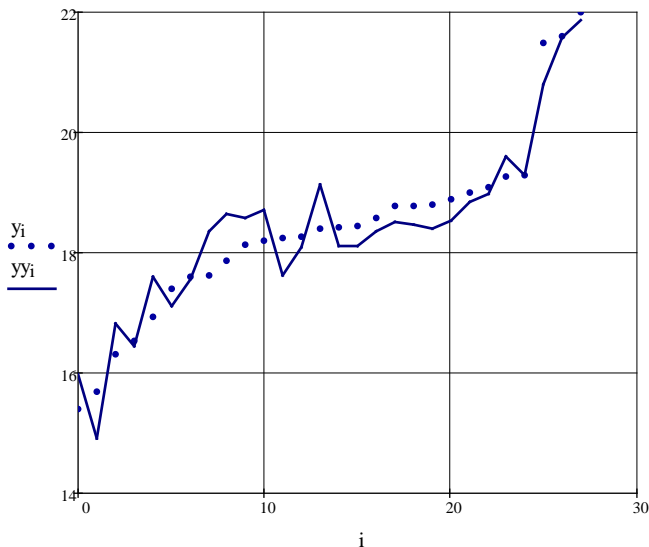


Рис. 3. График табличных и расчетных значений для точек по порядку их следования

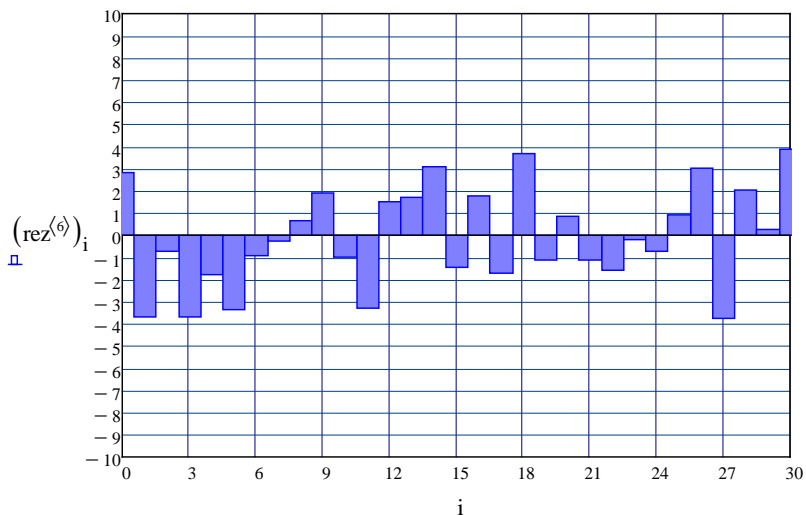


Рис. 4. Гистограмма отклонений расчетных значений для точек по порядку их следования

Табл. 6. Результаты описания исходных данных

Источник данных	x_1	x_2	x_3	y	\hat{y}_i	Δy	$\delta y, \%$
Сорго, стебель. [4], (#1428)	40,00	5,20	40,70	15,40	15,98	-0,58	-3,79
Ячмень, солома. [4], (#2909)	37,05	5,55	46,89	15,70	14,91	0,79	5,04
Пшеница, солома. [4], (# 3202)	41,57	5,65	43,33	16,31	16,83	-0,52	-3,20
Кукуруза, початок. [4], (#2302)	41,44	5,96	51,40	16,53	16,46	0,07	0,45
Кукуруза, стебель. [4], (#2790)	44,77	5,39	42,61	16,94	17,61	-0,67	-3,95
Подсолнечник, стебель. [5]	44,10	5,00	40,10	17,40	17,12	0,28	1,60
Рапс, стебель. [4], (#538)	44,66	5,13	39,20	17,61	17,55	0,06	0,34
Кукуруза, початок. [4], (#2791)	46,51	5,68	44,60	17,62	18,37	-0,75	-4,23
Сорго, стебель. [4], (#2792)	46,07	5,76	41,02	17,86	18,65	-0,79	-4,40

Продолжение таблицы 6

Источник данных	x1	x2	x3	y	\bar{y}_i	Δy	$\delta y, \%$
Ячмень, солома. [4]. (#434)	45,86	5,92	43,40	18,14	18,57	-0,43	-2,35
Пшеница, солома. [4]. (#426)	48,28	5,08	38,79	18,21	18,70	-0,49	-2,71
Кукуруза, стебель. [4]. (#1946)	43,86	5,77	44,52	18,25	17,62	0,63	3,43
Ячмень, солома. [4]. (#435)	46,44	5,24	41,15	18,27	18,09	0,18	0,96
Пшеница, солома. [4]. (#990)	47,55	5,86	42,44	18,39	19,13	-0,74	-4,02
Пшеница, солома. [4]. (#424)	46,02	5,50	43,09	18,42	18,11	0,31	1,66
Пшеница, солома. [4]. (#427)	45,96	5,50	43,01	18,44	18,10	0,34	1,84
Ячмень, солома. [4]. (#433)	46,86	5,31	40,85	18,57	18,35	0,22	1,20
Кукуруза, початок. [4]. (#1240)	46,58	5,87	45,93	18,77	18,51	0,26	1,38
Ячмень, солома. [4]. (#432)	46,79	5,53	42,35	18,78	18,47	0,31	1,65
Рожь, солома. [4]. (#547)	47,49	5,29	42,19	18,79	18,41	0,38	2,04
Пшеница, солома. [4]. (#455)	47,82	5,29	42,06	18,89	18,53	0,36	1,93
Рожь, солома. [4]. (#548)	47,66	5,62	42,64	18,99	18,84	0,15	0,78
Пшеница, солома. [4]. (#454)	48,11	5,64	42,95	19,08	18,99	0,09	0,50
Кукуруза, початок. [4]. (#2068)	48,22	6,20	44,51	19,26	19,59	-0,33	-1,73
Ячмень, солома. [4]. (#946)	47,21	6,14	43,47	19,29	19,28	0,01	0,05
Рапс, стебель. [4]. (#409)	49,84	6,07	35,14	21,49	20,80	0,69	3,21
Рапс, стебель. [4]. (#408)	51,07	6,44	36,29	21,60	21,57	0,03	0,15
Рапс, стебель. [4]. (#410)	50,20	6,86	35,84	22,00	21,86	0,14	0,64

Выводы

1. Полученное уравнение высшей теплоты сгорания биомассы отходов растениеводства от элементарного состава с удовлетворительной точностью описывает исходные данные. Это позволяет использовать уравнение, как для прогнозирования, так и систематизации и обобщения данных по теплоте сгорания и элементарному составу биомассы отходов растениеводства.

2. Анализ данных, использованных при формировании исходного массива информации, показал их ограниченность (всего 8 видов) и неравномерность распределения по отдельным видам растительной биомассы. Данные также не всегда согласованы между собой.

3. Абсолютное большинство данных по теплоте сгорания и элементарному составу получены в зарубежных лабораториях с использованием местных образцов. Желательно при составлении такого уравнения использовать данные, полученные для украинского сырья при использовании апробированных методов.

Summary

Plant growing waste equation of Gross calorific value (HHV) in the dry state, depending on the elemental composition created using multiple linear regression analysis. The equation is a polynomial of the first degree of the three independent variables: C, H, and (O + N). Calculations related to the choice of the form of the equation, testing the significance of the equation and its coefficients, the quality parameters of description and graphical representation of the results describe carried out in the MathCad environment.

Литература

1. Корн Г., Корн Т., Справочник по математике для научных работников и инженеров, «Наука», 1978.
2. Тюрин Ю, Я., Макаров А. А. Статистический анализ данных на компьютере/Под ред. В. Э. Фигурнова. М.: Инфра-М, 1998. - 528 с.
3. Хан Г., Шапиро С Статистические модели в инженерных задачах. - М.: Мир, 1969. - 395 с
- Калинина В, К, Панкин В. Ф. Математическая статистика. — М.: Высш. шк., 1998. - 336 с.
4. Phyllis2, database for biomass and waste, <https://www.ecn.nl/phyllis2>, Energy research Centre of the Netherlands.
5. Роддатис К.Ф., Котельные установки. - М.: Энергия, 1977. - 432 с.