

А.С. Касьянов

Энергетический потенциал соломы как биотоплива

Сегодня в Российской Федерации, а особенно в ее южных районах, пропадает огромное количество потенциально дешевого биотоплива из отходов сельского хозяйства (соломы, лузги и других). В Европе из подобных отходов уже давно производят топливные брикеты (пеллеты) для использования этого экологически чистого топлива с высокой теплоотдачей для котельных и крупных ТЭС.

В связи с этим возникает потребность в продолжении исследований энергетической проблемы, которой посвящены работы И. Б. Бестужева-Лады, Ю. Ю. Герасимова, Ю. В. Горлачева, П. Л. Капицы, Н. Н. Моисеева, М. Н. Рудакова, И. Т. Фролова, Г. С. Хозина[11]. Для того чтобы оценить количество пожнивных остатков злаковых культур, воспользуемся статистическими данными официальных министерств по валовому сбору урожая. В этом случае количество пожнивных остатков злаковых культур находится из формулы:

$$B_{от} = B_{зер} \cdot K_{от}, \quad (1)$$

$B_{от}$ - пожнивных остатков злаковых культур; $B_{зер}$ - количество зерна;
 $K_{от}$ – коэффициент отходов.

Коэффициент отходов является безразмерной величиной и определяет выход соломы или стеблей растений в зависимости от количества зерна [1].

В сельском хозяйстве солома ячменя, пшеницы и овса применяется для содержания скота, а пожнивные остатки рапса, гречихи не используются в животноводстве. Исходя из этого для оценки объема отходов, которые могут использоваться как топливо, применяется коэффициент энергетического использования растительных отходов $K_{эн}$ [2]. Поскольку в процессе сбора и транспортировки неизбежны потери, введем коэффициент потерь $K_{п}$.

Следовательно, мы можем получить выражение для определения отходов доступных для производства энергии

$$B_{\text{ЭН}} = B_{\text{зер}} \cdot K_{\text{от}} \cdot (1 - K_{\text{п}}) \cdot K_{\text{ЭН}} \quad (2)$$

В результате обработки статистических данных по валовому сбору зерна и соломы в различных областях России были определены коэффициенты $K_{\text{от}}$, $K_{\text{п}}$, $K_{\text{ЭН}}$. По данным Росстата, а также из анализа статистических материалов по Ростовской области за 2010-2012 годы.

В табл. 1 приведены значения указанных коэффициентов.

Чтобы рассчитать количество растительных отходов по формуле (2) были использованы официальные данные Росстата по валовому сбору зерна[3]. Результаты обследования приведены в таблице 2.

Таблица 1. – Коэффициенты основных растительных отходов

№	Наименование культуры и отходов	Коэффициенты		
		отходов, $K_{\text{от}}$	потерь, $K_{\text{п}}$	энергетического использования, $K_{\text{ЭН}}$
1	Солома зерновых и зернобобовых	1	0,1	0,7
2	Солома рапса	1,8	0,1	1
3	Солома сои	1,3	0,1	1
4	Кукуруза (стебли)	1,2	0,25	1
5	Подсолнечник (стебли)	3,5	0,3	1
6	Подсолнечник (лузга)	0,18	0,1	1

Таблица 2. – Количество основных растительных отходов

	Годы								
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Валовой сбор зерна, Бзер, тыс. ц									
Зернов	81962	8064	8159	8764	1112	1079	790454	9760	8132
ые и	5	79	90	44	459	458		21	40

зернобо бо- вые									
Рапс	1575	1505	1282	2342	2548	3231	4136	3099	1772
Соя	5699	7539	8365	7148	7843	1040 8	14227	1818 9	1940 5
Кукуру за	35336	3155 3	3730 4	4422 7	6995 0	4819 3	42472	7447 7	8726 5
Подсол нечник на зерно	49597	6625 6	7016 3	6017 9	7624 8	7125 0	68673	1020 26	8487 5
Количество растительных отходов, Бэп, тыс. ц									
Солома зернов ых и зер- нобобо вых	51636 3,8	5080 81,8	5140 73,7	5521 59,7	7008 49,2	6800 58,5	497986	6148 93,2	5123 41,2
Солома рапса	2551,5	2438, 1	2076, 8	3794	4127, 8	5234, 2	6700,3	5020, 4	2870, 6
Солома сои	6667,8	8820, 6	9787, 1	8363, 2	9176, 3	1217 7,4	16645, 6	2128 1,1	2270 3,9
Кукуру за (стебли)	31802, 4	2839 7,7	3357 3,6	3980 4,3	6295 5	4337 3,7	38224, 8	6702 9,3	7853 8,5
Подсол нечник	12151 2,7	1623 27,2	1718 99,4	1474 38,6	1868 07,6	1745 62,5	168248 ,9	2499 63,7	2079 43,8

(стебли)									
Подсолнечник (лузга)	8034,7	1073 3,5	1136 6,4	9749	1235 2,2	1154 2,5	11125	1652 8,2	1374 9,8
Всего	68693 2,9	7207 98,9	7427 77	7613 08,8	9762 68,1	9269 48,8	738930 ,6	9747 15,9	8381 47,8

Рассмотрим пример расчета производственных отходов соломы зерновых и зернобобовых за 2012 год по формуле (2):

$$B_{эн} = B_{зер} \cdot K_{от} \cdot (1 - K_{п}) \cdot K_{эн} =$$

$$= 813240 \text{ тыс. ц} \cdot 1 \cdot (1 - 0,1) \cdot 0,7 = 512341,2 \text{ тыс. ц}$$

Энергетический потенциал растительных отходов сельскохозяйственного производства можно определить из выражения

$$P_{эн} = B_{эн} \cdot Q_n^p / 7000, \text{ кг у.т.}, \quad (3)$$

где Q_n^p - низшая теплота сгорания рабочего топлива из растительных отходов, ккал/кг; 7000 ккал - теплотворная способность 1 кг условного топлива. [4]. Так как зависит от влажности отходов, то значения принимались по литературным данным [5] для воздушно-сухих отходов влажностью 18-20%. Солома зерновых и зернобобовых культур = 3000 ккал/кг; рапса – 3660; сои – 3800; стебли кукурузы – 3270; стебли подсолнечника – 3200; лузга подсолнечника – 3750 ккал/кг. Результаты расчета энергетического потенциала представлены в табл. 3. Пример расчета энергетического потенциала соломы зерновых и зернобобовых культур за 2012 год по формуле (3)

$$P_{эн} = \frac{B_{эн} \cdot Q_n^p}{7000} = \frac{51234,12 \text{ тыс. т} \cdot 3000 \text{ ккал / кг}}{7000 \text{ ккал / кг}} = 21957,48 \text{ тыс. т. у.т.}$$

Таблица 3. – Количество условного топлива

	Количество условного топлива $P_{эн}$, тыс. т у. т.					
Годы	Зернов	Рапс	Соя	Кукур	Подсолнечник	Всего

	ые и зерноб обо- вые			уза	стебли	лузга	
2004	22129,9	133,4	362	1485,6	5554,9	430,4	30096,2
2005	21774,9	127,5	478,8	1326,6	7420,7	575	31703,5
2006	22031,7	108,6	531,3	1568,4	7858,3	608,9	32707,2
2007	23664	198,4	454	1859,4	6740,1	522,3	33438,2
2008	30036,4	215,8	498,1	2940,9	8539,8	661,7	42892,7
2009	29145,4	273,7	661,1	2026,2	7980	618,3	40704,7
2010	21342,3	350,3	903,6	1785,6	7691,4	596	32669,2
2011	26352,6	262,5	1155,3	3131,2	11426, 9	885,4	43213,9
2012	21957,5	150,1	1232,5	3668,9	9506	736,6	37251,6
Средне годовое	24270,5	202,3	697,4	2199,2	8079,8	626,1	36075,2

Исходя из данных таблицы 3 наибольший энергетический потенциал растительных отходов был в 2011 году и составлял свыше 43 млн.т.у.т.

Следует рассматривать два эффективных пути использования незерновой части урожая злаковых культур. Первый - это производство топливных брикетов или пеллет, что для агропромышленных предприятий позволит снять ответственность за сжигание отходов на полях, обеспечит появление новых рабочих мест и дополнительный доход. Биоэнергетика способна заменить углеводородное топливо во многих энергетических отраслях – в производстве тепла, электроэнергии и транспортного топлива[7]. А для бизнеса данное направление означает выход на европейские рынки с биотопливом из местных отходов. Так стоимость оптовых закупок брикетов из соломы на пункте доставки Ягодин (на границе с Польшей) доходит до 100 евро/тонна при себестоимости производства в 50-55 евро/тонна. Второй – использование рулонов или

тлюков соломы в качестве топлива для тепло- и электрогенерации, расположенных рядом с местом возделывания злаковых культур, различных производственных сельскохозяйственных и бытовых объектов.

В настоящее время мировым лидером в использовании соломы в энергетических целях является Дания. В табл.1.1 приведены данные о количестве в этой стране соломосжигающих установок и станций.

В течении последних семи лет среднегодовое количество соломы в Дании составляет не менее 6.3 млн т. Из них 12,5 % используется в качестве топлива (в фермерских котлах – 7,2; на тепловых станциях – 4,2; на электростанциях – 1,1 %), 36,5 % идет на нужды сельского хозяйства (для корма и подстилки скоту), излишек соломы составляет 48 %, и он рассматривается как потенциал для расширения энергетического использования БМ.

Таблица 1.1 – Использование соломы для сжигания в энергетических целях (Дания)

Установки и станции	Число установок (станций)	Годовое потребление соломы	
		тыс. т	ПДж
Фермерские установки (0,1...1,0 МВт)	8000	400	6,4
Тепловые станции (1...10 МВт)	67	320	4,3
Станции КТЭ	15	390	6,7
Итого		1110	17,4

Основные преимущества использования соломы в качестве источника энергии:

- высокая тепловая отдача;
- экологически чистая энергия;

солома это CO₂ — нейтральный вид топлива, при сгорании и естественном тлении выделяет одинаковое количество углек.газа.

– легко возобновляемая;

– не требующая больших финансовых затрат;

солома — побочный продукт производства зерна, а значит, относительно дешевый вид топлива, в сравнении с традиционным топливом (газом, углем, мазутом).

– не требующая затрат при хранении;

– имеет большой диапазон применения;

Теплотворная солома (влажность не более 20%) - 4 кВт/кг или 3440 ккал/кг [6]. Теплотворной способностью или теплопроводностью топлива называется то количество теплоты, которое дает одна весовая единица этого топлива при своем горении.

соотношение объемов и теплотворной способности топлива:

1 м³ газа → 10 кВт

1 л дизельного топлива → 10 кВт

2,5 кг дров или соломы влажностью около 20% → 10 кВт

1 м³ березовых дров с влажностью 20% весит 455 кг

1 м³ березовых дров равноценен 0,75 м³ дубовых, 1,1 м³ ольховых, 1,2 м³ сосновых, 1,3 м³ еловых, 1,5 м³ осиновых

В табл. 1.2 приведены типичные характеристики соломы в сравнении с характеристиками угля и природного газа.

Таблица 1.2 – Сравнительные физико-химические свойства углеводородного сырья

Характеристика	Желтая солома	Серая солома	Уголь	Природный газ
----------------	---------------	--------------	-------	---------------

Влажность, % масс.	15	15	12	0,0
Состав топлива, % масс.:				
зола,	4	3	12	0,0
углерод,	42	43	59	75
кислород,	37	38	7,3	0,9
водород,	5,0	5,2	3,5	24
хлор,	0,75	0,2	0,08	-
азот,	0,35	0,41	1,0	0,9
сера,	0,16	0,13	0,8	0,0
летучие компоненты	70	73	25	100
Теплота сгорания, МДж/кг:				
фактическая,	14,4	15	25	48
сухого сырья без золы	18,2	18,7	32	48
Температура золы, °С:				
начала деформации,	950	1100	1175	-
размягчения,	1050	1150	1225	-
жидкотопливного состояния,	1150	1250	1275	-

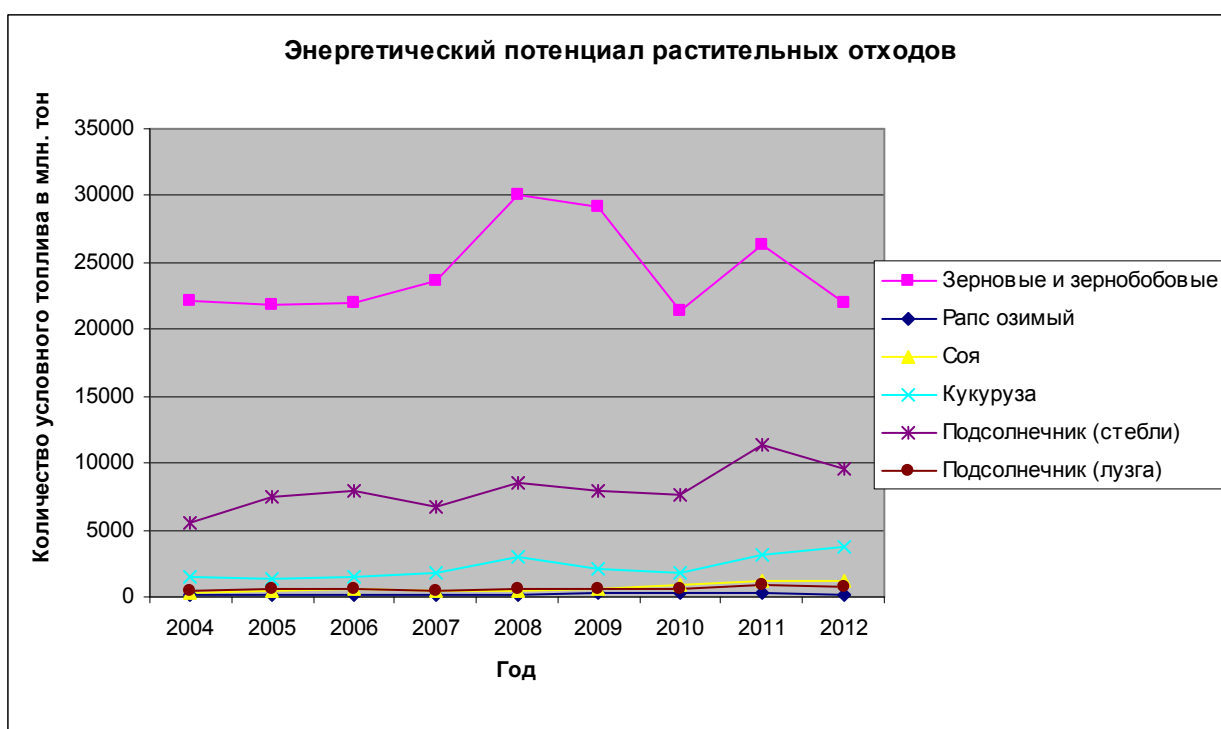
Первой проблемой при использовании пожнивных остатков злаковых культур является их низкая насыпная плотность рулонов (30 – 40 кг/м³) имеющими сейчас техникой у наших фермеров. Но и у нас производится техника с плотностью тюков 95 кг/м³ (производить такой вид подборщиков завод Ростсельмаш).

Вторая проблема - солома содержит хлор, соединения которого вызывают коррозию теплообменного оборудования. Причем, в «желтой» (свежеубранной) соломе почти в 4 раза выше, чем в «серой» (увядшей). Считается, что для вымывания хлоридов из соломы достаточно 5 – 7 дней.

Солома – это горячий воздух, горячая вода, пар, электроэнергия. Экономическая выгода очевидна в связи с использованием дешевого сырья[9,10]. В мире каждый день наращивают темпы использования соломы как биотоплива, в альтернативную энергетику вкладываются большие

инвестиции. Эффект от использования альтернативного топлива из отходов сельского хозяйства:

- создание экологически чистого, безотходного производства
- снижение себестоимости продукции
- экономически эффективное использование растительных отходов
- экономия бюджетных средств, выделяемых на закупку топлива для муниципальных котельных;
- развитие малого бизнеса
- создание новых рабочих мест на селе.



Выводы

- Уточненная методика расчета энергетического потенциала твердой биомассы России за период 2004-2012 годов, среднегодовое значение которого составило свыше 36 млн. т.у.т.

- Результаты обработки фактических данных по выходу соломы в различных регионах России уточнены опытные значения

коэффициентов отходов, потерь и энергетического использования растительных отходов.

- Потенциал растительных отходов зависит от многих факторов и за период 2004–2012 годов изменился до 30%.

- Суммарный фактически достигнутый энергетический потенциал твердого биотоплива составил более 37 млн. т. у. т./год, что составляет примерно 10% всего энергопотребления России.

Литература:

1. Забарний Г. М., Шурчков А. В. Энергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії України. – Київ: ІТТФ НАНУ, 2002. – 211 с.

2. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Жовмір М. М., Матвеев Ю. Б., Дроздова О. І. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Частина 1. Відходи сільського господарства та деревинна біомаса // Промислова теплотехніка, 2010, т. 32, №6.–С. 58–65.

3. Росстат. Статистические данные//[Электронный ресурс] /Режим доступа:http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy/# (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

4. Ключ С.В., Г.Н. Забарный Оценка и прогноз потенциала твердого биотоплива [Электронный ресурс] /Режим доступа:http://www.escoecosys.narod.ru/industry/2013_5/art152.pdf (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

5. Кудря С. О. Щокін А. Р. Деякі аспекти визначення коефіцієнтів переводу теплотворної здатності паливно-енергетичних ресурсів з натуральних одиниць в умовні // Відновлювана енергетика, 2006.– №6.–С. 15-22.

6. Компания Herlt. Требования к качеству соломы как топливу [Электронный ресурс] /Режим доступа: www. URL:

<http://www.coalnet.ru/herlt/stroh.html> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

7. Шегельман И.Р. Потенциал карельского биоэнергетического кластера [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона» 2013, №3.- Режим доступа <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1751> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

8. Nikolaisen L., Nielsen C., Larsen M.G. Straw for Energy Production. Technology Environment - Economy. - Aarhus: EN- TRYK 2006. - 46 p.

9. Jorgensen U, Kristensen E.F. European Energy Crops Overview. Country Report for Denmark, June 2006. - Copenhagen, 1996. - 83 p.

10. J. van Doorn, Bruyn P. Vermeij P. Combined Combustion of Biomass, Municipal Sewage Sludge and Coal in an Atmospheric Fluidised Bed Installation//Proc. of the 9th Europ. Bioenergy Conf., Copenhagen, Denmark, 24-27 June, 2006. - Pergamon, 2006. - Vol. 2. - P. 1007-1012.

11. Васильев А.С. Шегельман И.Р. Анализ путей повышения конкурентоспособности энергетической биомассы [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона» 2013, №3.- Режим доступа <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1769> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.