

УДК 620.92

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ В УКРАИНЕ. ЧАСТЬ 2

Гелетуха Г.Г., канд. тех. наук, Железная Т.А., канд. тех. наук, Трибой А.В.

*Институт технической теплофизики НАН Украины, ул. Желябова, 2а, Киев, 03680, Украина*

Розглянуто характеристики рослинних відходів як палива. Проаналізовано існуючі дослідження з питання яку частку загального обсягу пожнивних решток можна використовувати для виробництва енергії. Дано рекомендації для України. Виконано розрахунок енергетичного потенціалу рослинних відходів сільського господарства в Україні.

Рассмотрены характеристики растительных отходов как топлива. Проанализированы существующие исследования по вопросу какую долю общего объема пожнивных остатков можно использовать для производства энергии. Даны рекомендации для Украины. Выполнен расчет энергетического потенциала растительных отходов сельского хозяйства в Украине.

The paper considers properties of plant residues as a fuel. Available studies on the question of what part of the harvesting residues may be taken for energy production are analyzed. Recommendations for Ukraine are given. Energy potential of agricultural waste in Ukraine is assessed.

Библ. 15, табл. 3.

**Ключевые слова:** биомасса, биотопливо, биоэнергетика, растительные отходы, пожнивные остатки, солома, стебли кукурузы, стебли подсолнечника, биогаз.

$W$  – влажность;

$Q_n^p$  – низшая теплота сгорания;

с.в. – сухое вещество;

с/х – сельское хозяйство;

у.т. – условное топливо.

### **Свойства растительных отходов как топлива**

Растительные отходы как топливо имеют ряд негативных свойств, что требует довольно тщательного подхода к их практическому использованию. Так, солома может содержать хлор и щелочные металлы (табл. 1), из-за чего в процессе ее сжигания образуются такие химические соединения как хлорид натрия и хлорид калия. Эти соединения вызывают коррозию стальных элементов энергетического оборудования, особенно при высоких температурах. Другой особенностью соломы как топлива является относительно низкая температура плавления золы – 900...1000 °С (для сравнения – у древесины ~1200 °С), что может привести к шлакованию элементов энергетического оборудования.

На сегодня в мире уже найдены конструктивные и другие технологические решения, которые минимизируют эти негативные воздействия и позволяют успешно использовать солому в качестве топлива. Примерами таких решений является совместное сжигание с углем, древесиной и другими топливами или же использо-

вание не «желтой» (свежей) соломы, а «серой», то есть с длительным сроком хранения под открытым небом. В результате промывания дождями в «серой» соломе содержится существенно меньше хлора и калия по сравнению с «желтой» соломой. Что касается Украины, то вполне можно предположить, что содержание хлора и щелочных металлов в ее соломе меньше, чем в соломе других стран. Это связано со значительным сокращением внесения минеральных удобрений под посевы в течение последних 20 лет.

Стебли кукурузы также содержат хлор и щелочные металлы на уровне, близком к показателям соломы. Температура плавления золы у стеблей кукурузы выше, чем у соломы – 1100...1200 °С, что является положительным фактором с точки зрения применения в качестве топлива. Кроме того, в стеблях кукурузы почти на порядок меньше содержание серы.

Результаты исследования [6] показали возможность успешного сжигания тюков из стеблей кукурузы в котле, предназначенном для тюкованной соломы зерновых культур. Одно из

Табл. 1. Химический состав и некоторые характеристики биотоплива растительного происхождения

Показатели	Свежая солома («желтая») [1]	Солома, хранившаяся на поле («серая») [1]	Стебли кукурузы* [2-4]	Стебли подсолнечника* [4, 5]	Древесная щепа (для сравнения) [1]
Влажность, %	10...20	10...20	45...60** 15...18***	60...70** ~20***	40
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	14,4	15	5-8 (W 45...60 %) 15-17 (W 15...18 %)	16 (W < 16 %)	10,4
Содержание летучих веществ, %	> 70	> 70	> 60...70	> 70	> 70
Зольность, %	4	3	5...9	10...12	0,6...1,5
<i>Элементарный состав, %:</i>					
углерод	42	43	45,5	44,1	50
водород	5	5,2	5,5	5,0	6
кислород	37	38	41,5	39,4	43
хлор	0,75	0,2	0,2	0,7...0,8	0,02
калий	1,18	0,22	6,1 мг/кг с.в.	5,0	0,13...0,35
азот	0,35	0,41	0,3...0,7	0,7	0,3
сера	0,16	0,13	0,04	0,1	0,05
Температура плавления золы, °С	800...1000	950...1100	1100...1200	800...1270	1000...1400

\* Данные по содержанию летучих веществ, зольности, элементарному составу – % массы с.в.

\*\* После сбора.

\*\*\* Высушенные на воздухе.

отличий заключалось в образовании большего объема золы – 9,2 % для стеблей кукурузы против 2,6 % для соломы. Для уменьшения объема золы рекомендуется использовать тюки из стеблей кукурузы не высокой плотности (~105 кг с.в. /м<sup>3</sup>), а низкой и средней (~80 кг с.в./м<sup>3</sup>). В этом случае объем золы снижается до 6,2 %. Средний уровень выбросов СО при сжигании стеблей кукурузы был выше, чем для соломы (2725 мг/м<sup>3</sup> против 2210 мг/м<sup>3</sup>), а NO<sub>x</sub> и SO<sub>2</sub> – ниже (мг/м<sup>3</sup>): 9,8 против 40,4 и 2,1 против 3,7, соответственно.

О стеблях подсолнечника как о топливе информации пока немного. Известно, что их элементарный состав близок к составу соломы и стеблей кукурузы, но содержание золы выше – около 11 % массы сухого вещества. Содержание

щелочного металла калия также существенно выше – до 5 % массы сухого вещества. Примеров производства энергии из стеблей подсолнечника на сегодня не найдено.

***Доля растительных отходов сельского хозяйства, которая может быть использована для производства энергии***

Один из важнейших вопросов заключается в том, какую долю потенциала соломы и других растительных отходов сельскохозяйственного производства можно использовать для производства энергии, принимая во внимание, в первую очередь, потребности растениеводства и животноводства. Для получения ответа на этот вопрос рассмотрим существующие исследова-

ния по этой проблеме и практический опыт других стран.

В Европейском Союзе и вообще в мире наибольший опыт по энергетическому использованию соломы имеет Дания. В этой стране ежегодно, в среднем, из 5,5...6 млн. т собранной соломы около 1,5 млн. т (27 %) утилизируется в качестве топлива, 1 млн. т (18 %) используется в качестве корма для скота, 0,7 млн. т (13 %) идет на подстилку для скота, а свободный остаток составляет порядка 2,3 млн. т (42 %). Многочисленные исследования, проведенные в Дании, показали, что имеющийся и ожидаемый в будущем объем соломы намного превышает потребности всех существующих направлений потребления [7].

В Великобритании 40 % урожая соломы пшеницы измельчается и запахивается в почву, 30 % используется на подстилку и корм скоту, 30 % фермеры продают на сторону другим потребителям, в том числе 3 % (около 200 тыс. т/год) – для нужд электростанции мощностью 38 МВт, [8]. В Китае ежегодно образуется 600 млн. т соломы, из которых около 6,4 млн. т (1 %) используются в качестве топлива на электростанциях. В Украине, по оценкам экспертов ИТТФ НАН Украины, для производства энергии и твердых биотоплив используется около 1 % экономического потенциала соломы.

Всестороннее исследование возможности устойчивого применения соломы в энергетических целях недавно было выполнено в Германии Региональным институтом сельского хозяйства Тюрингии (TLL), Немецким исследовательским центром по вопросам биомассы (DBFZ) и Центром Гельмгольца по экологическим исследованиям (UFZ) [9]. Это одно из немногих существующих исследований такого рода по конкретной стране ЕС. По его результатам, из 30 млн. т/год соломы зерновых, образующихся в Германии, 4,8 млн. т/год (16 %) утилизируется на нужды животноводства, а 8...13 млн. т/год (~ 30 %) могут быть использованы на энергетические цели с учетом критериев устойчивости (в исследовании обработаны данные 1999-2007 гг.). Одним из основных выводов исследования по Германии является то, что солома как топливо в стране является «недоиспользованной».

Для Евросоюза в целом было проведено около десятка исследований по вопросу энергетического применения растительных отходов. По их результатам, на энергетические нужды можно использовать 25...50 % урожая соломы и пожнивных остатков кукурузы на зерно, 30...50 % отходов производства подсолнечника, а оставшая биомасса должна оставаться на полях [8].

Исследования, выполненные для условий США, показали, что для производства энергии/биотоплива можно использовать 30...60 % общего объема соломы и отходов производства кукурузы на зерно. При применении технологии обработки почвы No-Till, доля пожнивных остатков кукурузы, доступная для нужд энергетики, может вырасти до 60...80 %.

В Украине существуют различные, иногда прямо противоположные позиции относительно возможных направлений использования соломы и других растительных остатков. Многие специалисты в области почвоведения и земледелия считают, что практически вся солома должна быть оставлена в поле для поддержания и воспроизводства плодородия почв. Напротив, по мнению других экспертов, в Украине есть избыток соломы, который можно вовлечь в топливно-энергетический баланс. Практический опыт показывает, что с одной стороны в Украине постепенно набирает обороты процесс внедрения котлов на соломе, растут объемы производства гранул и брикетов из соломы. С другой стороны, довольно часто поступает информация об отсутствии в регионах соломы, доступной для производства энергии. По-видимому, все зависит от локальных условий, поэтому ситуация на местах может быть очень разной.

Ряд научных исследований, выполненных украинскими специалистами, посвящен вопросу возможности и целесообразности использования соломы и других сельскохозяйственных отходов для производства энергии. Рассмотрим некоторые из них.

В работе [10] разработана компьютерная имитационная модель функционирования аграрного предприятия, которое использует часть соломы для производства гранул/брикетов и на прямое сжигание для получения тепловой энергии. Эта модель позволяет установить индиви-

дуально для каждого предприятия, какую долю соломы можно выделить на энергетические потребности с соблюдением бездефицитного баланса гумуса. Для рассматриваемого в исследовании предприятия картофеле-зерно-животноводческого направления эта доля составляет 38 %.

В аналогичном исследовании [11] рассмотрено аграрное предприятие другого типа (сахарно-зерно-животноводческого направления). Определено, что в данном случае доля соломы, которая может быть использована для производства энергии без нанесения ущерба плодородию почв, составляет 86 %. Обобщая, можно сказать, что доступный объем соломы и других растительных отходов зависит от особенностей и условий хозяйственной деятельности конкретного агропредприятия. Согласно методике оценки, разработанной в [10, 11], он может колебаться от 30 % до 100 % общего объема отходов [12].

В работе [12] разработана модель и выведены зависимости для расчета предельного объема соломы, который можно использовать на тепловые потребности агропредприятия. Объем доступной соломы зависит от годового дефицита гумуса (кг/га). Предложенная зависимость учитывает показатели, характеризующие сельскохозяйственное производство Украины на протяжении последних лет. В работе отмечено, что при общем дефиците гумуса более 67 кг/га, использование соломы на тепловые потребности невозможно из-за несоблюдения условий положительного баланса гумуса. Предельный объем соломы, который можно использовать на тепловые потребности, при нулевом балансе гумуса составляет около 40 %.

В работе [13] отмечено, что в Украине ежегодно производится 45...50 млн. тонн соломы зерновых колосовых и зернобобовых культур. Из этого объема 17...20 млн. т (~ 40 %) целесообразно применять в качестве органического удобрения, а 10 млн. т (~ 20 %) можно брать на энергетические нужды. В вопросе выбора наиболее рационального направления утилизации соломы и других растительных остатков рекомендуется индивидуальный подход для каждого хозяйства, исходя из принципа экономической и хозяйственной целесообразности.

Результаты найденных в литературе исследований, проведенных украинскими и зарубежными специалистами, сведены в таблице 2.

Критический анализ и обобщение всех рассмотренных в этом разделе данных позволяет сформировать такую позицию авторов:

1. Вопрос о доле соломы и других растительных остатков, которые могут быть использованы для производства энергии или биотоплива, необходимо решать индивидуально для каждого хозяйства. При этом должны быть учтены все важные агроэкономические факторы.

2. Для Украины в целом можно предложить лишь общие рекомендации относительно доли соломы и других растительных остатков, доступных для использования в качестве топлива, с учетом собственных нужд сельского хозяйства, а именно: использовать до 30 % теоретического потенциала соломы зерновых культур и до 40 % теоретического потенциала отходов производства кукурузы на зерно и подсолнечника.

#### *Энергетический потенциал растительных отходов сельского хозяйства*

Основываясь на рекомендованных долях растительных отходов, доступных для энергетического сектора, выполним расчет потенциала соответствующих видов биомассы в Украине, исходя из данных производства соответствующих сельскохозяйственных культур в 2013 году. Результаты расчета представлены в таблице 3.

Из данных таблицы 3 видно, что в пересчете на условное топливо наибольший энергетический потенциал имеют солома зерновых культур (4,5 млн. т у.т.) и отходы производства кукурузы на зерно (4,4 млн. т у.т.). Потенциал пожнивных остатков подсолнечника – 1,7 млн. т у.т. Суммарный энергетический потенциал составляет 10,6 млн. т у.т., или в натуральных единицах – 33,6 млн. т.

Если сравнить эти результаты с предыдущими оценками специалистов ИТТФ НАН Украины потенциала всех видов биомассы, доступных для производства энергии в Украине (~30 млн. т у.т./год), то видно, что растительные отходы сельского хозяйства в виде соломы зерновых культур, отходов производства кукурузы на зерно и подсолнечника составляют около трети общего потенциала.

Табл. 2. Оценка доли растительных отходов сельского хозяйства, доступных для производства энергии [8]

Страна / регион	Вид отходов*	Доля общего объема (теоретического потенциала), доступная для энергетических потребностей
ЕС-15 + Норвегия и Швейцария	солома	50 %
	К	25 %
ЕС	солома, К	25 %
ЕС	солома, К, П	30 %
ЕС	солома	50 %
ЕС-27 [14]	солома, К, П, Д	30 %
ЕС-27	солома	45 %
	К, П	40...50 %
Германия [9]	солома	30 %
Греция	солома	15 %
	К, П	60 %
Швеция	солома, К	60 %
Польша	солома	20 %
Эстония	солома	15...65 %
США	солома	40 %
США	солома, К	30...40 %
США	К	30...60 %
		76...82 % (при технологии No-Till)
США	солома	40...50 %
	К	40 %
		35...70 % (при технологии No-Till)
США	солома	60 %
	К	60...70 % (при технологии No-Till)
США	К	30...70 % (при технологии No-Till)
США	К	30...40 %
Украина [10]	солома	38 % (предприятия картофеле-зерно-животноводческого направления)
Украина [12]	солома	40 %
Украина [11]	солома	86 % (предприятия сахарно-зерно-животноводческого направления)
Украина [13]	солома	20 %
Украина [15]	солома	≥ 50 % (после 2008 г.)
	К, П	100 %

\* К – отходы производства кукурузы на зерно, П – отходы производства подсолнечника, Д – другие растительные отходы.

Табл. 3. Энергетический потенциал растительных отходов сельского хозяйства в Украине (2013 год)

Вид биомассы	Урожай с/х культур, млн. т	Теоретический потенциал отходов, млн. т	Доля отходов на энергетику	Энергетический потенциал					
				млн. т	W, %	Q <sub>n</sub> <sup>p</sup> , МДж/кг	млн. т у.т.		
Солома зерновых культур	зерновые (без кукурузы): 32,1	30,6	30 %	9,2	20	14,5	4,5		
Отходы производства кукурузы на зерно: всего, в т.ч.*	кукуруза: 30,9	40,2	40 %	16,1	50	8	4,4		
		- стебли (с листьями)		30,3				12,1	3,3
		- обмолоченные кочаны		5,6				2,2	0,6
Отходы производства подсолнечника: всего, в т.ч.	подсолнечник: 11,0	20,9	40 %	8,3	60	6	1,7		
		- стебли (с листьями)		14,3				5,7	1,2
		- корзинки		6,6				2,6	0,5
<b>Всего</b>	<b>74,0</b>	<b>91,8</b>		<b>33,6</b>			<b>10,6</b>		

\* Остальная часть отходов – обертка початка с ножкой.

### Выводы

Украина имеет большое количество растительных отходов благодаря высокоразвитому аграрному сектору. Основные из них – это солома злаковых культур, пожнивные остатки кукурузы на зерно и подсолнечника. Для возможности использования биомассы сельскохозяйственного происхождения в энергетических целях необходимо обеспечить сбор соответствующих отходов. Для сбора соломы зерновых культур в Украине имеется необходимая техника, надо лишь перейти с потоковой технологии заготовки к валковой с последующим тюкованием соломы пресс-подборщиками. Решение об использовании валковой или иной технологии принимает непосредственно само агропредприятие. Представляется, что в условиях широкого внедрения солomosжигающих котлов в Украине и наличии стабильного спроса на солому, аграрным предприятиям будет экономически выгодно использовать валковую технологию сбора соломы, выполнять ее тюкование и продавать соответствующим потребителям.

Что касается кукурузы, то распространенные сейчас в Украине технологии сбора ее урожая не предусматривают сбора пожнивных остатков. Листостебельная масса измельчается и разбрасывается по полю. В данном случае можно предложить следующие варианты: сбор измельченных остатков в транспортные средства и/или стационарный обмолот початков. После этого собранные отходы силосуются и используются для производства биогаза. Альтернативный подход заключается в переходе к технологии уборки кукурузы, распространенной в США, согласно которой собираются только початки кукурузы, а стебли остаются в поле. Затем стебли естественным путем высушиваются до влажности около 20 %, после чего выполняется операция их тюкования. Сейчас в Украине такой техники нет, однако соответствующие пресс-подборщики выпускаются и используются в США.

Аналогичные подходы можно рекомендовать и для пожнивных остатков подсолнечника: сбор измельченных отходов для силосования и про-

изводства биогаза или тьюкование подсушенных в поле стеблей с последующим сжиганием в котлах или использованием в качестве сырья для производства гранул/брикетов.

Сбор отходов производства кукурузы на зерно и подсолнечника будет выполняться агропредприятиями только при условии стабильного спроса и выгодной цены на эту продукцию. Выбор дальнейшего направления энергетического использования отходов (производство биогаза, прямое сжигание или производство гранул/брикетов) будет зависеть от влажности этих отходов и оцененных технико-экономических показателей технологий.

В среднем, для Украины можно рекомендовать для производства энергии до 30 % теоретического потенциала соломы зерновых культур и до 40 % общего объема отходов производства кукурузы на зерно и подсолнечника. С учетом этих рекомендаций энергетический потенциал соответствующих видов биомассы оценивается в 33,6 млн. т или 10,6 млн. т у. т. (по данным 2013 года). Это составляет около трети общего энергетического потенциала биомассы в Украине.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Nikolaisen L., Nielsen C., Larsen M.G. et al.* Straw for Energy Production. Technology – Environment – Economy. – Trojborg: Trojborg Bogtryk, 1998, 53 p.
2. *Morey R. V., Hatfield D. L., Sears R. et al.* Fuel properties of biomass feed streams at ethanol plants // Applied Engineering in Agriculture. – 2009. – V. 25 (1). – P. 57 – 64.
3. *Новітні технології біоенергоконверсії.* Монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуха, І.П. Григорюк та ін. – К: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 с.
4. *База даних Международного энергетического агентства.* <http://www.ieabcc.nl/>
5. *M. Wachendorf.* Thermal use of agricultural biomass. BOVA course “Energy Crops and Biogas Production, 3 –7 March 2008, Tartu, Estonia.
6. *Morissette R., Savoie Ph., Villeneuve J.* Corn stover and wheat straw combustion in a 176-kW boiler adapted for round bales // Energies. – 2013. – N 6. – P. 5760 – 5774.

7. *Skøtt T.* Straw to Energy. Status, technologies and innovation in Denmark 2011. – Tjele: Agro Business Park A/S, 2011. – 40 p.

8. *Monforti F., Bodis K., Scarlat N., Dallemand J.-F.* The possible contribution of agricultural crop residues to renewable energy targets in Europe: A spatially explicit study // Renewable and Sustainable Energy Re-views. – 2013. – N 19. – P. 666 – 677.

9. *Weiser Ch., Zeller V., Reinicke F. et al.* Integrated assessment of sustainable cereal straw potential and different straw-based energy applications in Germany // Applied Energy. – 2014. – V. 114. – P. 749 – 762.

10. *С.М. Кухарець, Г.А. Голуб.* Забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем на основі виробництва біопалива // Вісник Житомирського національного агроєкологічного університету. – 2012. – Т. 1, № 1 (30). – С. 345 – 352.

11. *Голуб Г.А.* Проблеми техніко-технологічного забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – 2011. – № 7. – С. 59 – 66.

12. *С.М. Кухарець, Г.А. Голуб.* Регулювання використання органічних ресурсів для виробництва біопалива // Сільськогосподарські машини. – 2013. – Випуск 24. – С. 187 – 194.

13. *Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Гриник І.В.* Науково обґрунтовані та практичні підходи використання соломи та рослинних решток у сільському господарстві // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – 2011. – № 9. – С. 62 – 68.

14. *Siemons R., Vis M., van den Berg D., Mc Chesney I., Whiteley M., Nikolaou N.* Bioenergy’s role in the EU energy market. A view of developments until 2020. Report to the European Commission. – 2004.

15. *Клюс С.В.* Визначення частки соломи та рослинних відходів для енергетичного використання // Відновлювана енергетика. – 2013. – № 4. – С. 82 – 85.

**PROSPECTS FOR THE USE OF  
AGRICULTURAL RESIDUES FOR ENERGY  
PRODUCTION IN UKRAINE. PART 2**

**Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Tryboi O.V.**

Institute of Engineering Thermophysics  
of the National Academy of Sciences of Ukraine,  
vul. Zhelyabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine

The paper considers properties of plant residues as a fuel. Available studies on the question of what part of the harvesting residues may be taken for energy production are analyzed. Recommendations for Ukraine are given. Energy potential of agricultural waste in Ukraine is assessed. On average the following shares of theoretical potential of agricultural residues are recommended for energy production in Ukraine: cereal straw – up to 30 %, residues of grain corn production and of sunflower production – up to 40 %. Taking into account these recommendations, energy potential of the corresponding types of biomass is estimated at 33.6 million t or 10.6 million tce for 2013. This amounts to about one third of the total biomass energy potential in Ukraine.

References 15, tables 3.

**Key words:** biomass, biofuel, bioenergy, plant residues, harvesting residues, straw, corn stalks, sunflower stalks, biogas.

1. *Nikolaisen L., Nielsen C., Larsen M.G. et al.* Straw for Energy Production. Technology – Environment – Economy. – Trojborg: Trojborg Bogtryk, 1998, 53 p.

2. *Morey R. V., Hatfield D. L., Sears R. et al.* Fuel properties of biomass feed streams at ethanol plants // *Applied Engineering in Agriculture*. – 2009. – V. 25 (1). – P. 57-64.

3. *Modern technologies for bioenergy conversion. Monograph / Ya.B. Blium, G.G. Geletukha, I.P. Grygoriuk et al.* – Kyiv: «Agrar Media Grup», 2010. – 326 P. (Ukr.)

4. *Database of the International Energy Agency* <http://www.ieabcc.nl/>

5. *M. Wachendorf.* Thermal use of agricultural biomass. BOVA course “Energy Crops and Biogas Production, 3-7 March 2008, Tartu, Estonia.

6. *Morissette R., Savoie Ph., Villeneuve J.* Corn stover and wheat straw combustion in a 176-kW boiler adapted for round bales // *Energies*. – 2013. – N 6. – P. 5760-5774.

7. *Skøtt T.* Straw to Energy. Status, technologies and innovation in Denmark 2011. – Tjele: Agro Business Park A/S, 2011. – 40 p.

8. *Monforti F., Bodis K., Scarlat N., Dallemand J.-F.* The possible contribution of agricultural crop residues to renewable energy targets in Europe: A spatially explicit study // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2013. – N 19. – P. 666 – 677.

9. *Weiser Ch., Zeller V., Reinicke F. et al.* Integrated assessment of sustainable cereal straw potential and different straw-based energy applications in Germany // *Applied Energy*. – 2014. – V. 114. – P. 749 – 762.

10. *Kukharets S.M., Golub G.A.* Ensuring energy autonomy of agroecosystems based on biofuel production // *Bulletin of Zhy-tomyr National Agroecological University*, 2012, N1 (30), v.1, P. 345 – 352. (Ukr.)

11. *Golub G.A.* Problems of technical and technological support of energy autonomy of agroecosystems // *Scientific Papers of Vinnytsia National Agrarian University. Series: Technical sciences*, 2011, N7, P. 59 – 66. (Ukr.)

12. *Kukharets S.M., Golub G.A.* Regulation of organic resources utilization for biofuel production // *Agricultural Machinery*, 2013, issue 24, P. 187 – 194. (Ukr.)

13. *Kaletnik G.M., Bulgakov V.M., Grynyk I.V.* Scientifically grounded and practical approaches of straw and plant residues use in agriculture // *Scientific Papers of Vinnytsia National Agrarian University. Series: Technical sciences*, 2011, N9, P. 62 – 68. (Ukr.)

14. *Siemons R., Vis M., van den Berg D., Mc Chesney I., Whiteley M., Nikolaou N.* Bioenergy’s role in the EU energy market. A view of developments until 2020. Report to the European Commission. – 2004.

15. *Klyus S.V.* Determination of the share of straw and plant waste for energy // *Renewable energy*. – 2013. – N 4. – P. 82 – 85. (Ukr.)

Получено 28.04.2014

Received 28.04.2014