



ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ В УКРАИНЕ

Аналитическая записка БАУ №7

Гелетуха Г.Г., Железная Т.А.

25 февраля 2014 г.

Обсуждение в БАУ: с 17.02.2014 по 24.02.2014
Утверждение Правлением БАУ и публикация на www.uabio.org: 24.02.2014
Публикация доступна на: www.uabio.org/activity/uabio-analytics
Для отзывов и комментариев: geletukha@uabio.org

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы искренне благодарят всех специалистов, принявших активное участие в обсуждении аналитической записки и представивших свои замечания и комментарии. Большинство замечаний было учтено при подготовке финальной версии записки, что существенно улучшило ее качество.

В частности, выражаем благодарность:

Голубу Геннадию Анатольевичу

Жовмиру Николаю Михайловичу

Клименко Виктору Николаевичу

Олейнику Евгению Николаевичу

Матвееву Юрию Борисовичу

Кучеруку Петру Петровичу

Дацько Людмиле Валериевне

Клюсу Владимиру Павловичу

Марайкину Ростиславу Валерьевичу

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение..... | 4 |
| Мировой опыт использования отходов сельского хозяйства для производства энергии..... | 4 |
| Технологии сбора основных сельскохозяйственных культур и пути использования пожнивных остатков в Украине..... | 6 |
| <i>Солома зерновых культур</i> | 6 |
| <i>Отходы производства кукурузы на зерно</i> | 13 |
| <i>Отходы производства подсолнечника</i> | 17 |
| Свойства растительных отходов как топлива | 19 |
| Доля растительных отходов сельского хозяйства, которая может быть использована для производства энергии | 21 |
| Энергетический потенциал растительных отходов сельского хозяйства..... | 26 |
| Выводы | 27 |
| ЛИТЕРАТУРА..... | 29 |
| Условные обозначения | 34 |
| Предыдущие публикации БАУ | 35 |

Введение

Данная аналитическая записка №7 Биоэнергетической ассоциации Украины является очередной в запланированной серии публикаций по основным вопросам развития биоэнергетики в Украине. В записке рассмотрены вопросы возможности использования растительных отходов сельского хозяйства для производства энергии в Украине. Проанализированы такие аспекты как образование соломы зерновых культур, пожнивных остатков кукурузы на зерно и подсолнечника, а также существующие направления их утилизации и предпосылки для возможности применения в энергетических целях.

Мировой опыт использования отходов сельского хозяйства для производства энергии

Сейчас в мире накоплен достаточно большой опыт по использованию растительных отходов сельскохозяйственного производства, в первую очередь соломы, в энергетических целях. Признанным лидером этого сектора биоэнергетики является Дания, где из ежегодно образуемых ~6 млн. т соломы около 1,5 млн. т сжигаются для производства энергии (~ 17 ПДж/год). Первые котлы на малых тюках соломы начали выпускаться и внедряться в стране еще в 1970-х годах после первого нефтяного кризиса. Позже появились котлы для больших и круглых тюков¹. Внедрение котлов с высоким КПД и низким уровнем выбросов вредных веществ стимулировалось государственной субсидией. Она была введена Датским Энергетическим Агентством в 1995 году для котлов мощностью до 200-400 кВт и действовала более 10 лет. Если КПД котла и уровень эмиссии загрязняющих веществ соответствовали определенным нормам, владельцу котла возмещалось до 30% стоимости оборудования за счет субсидии.

На сегодняшний день в Дании работает более 10 тыс. фермерских котлов на соломе (0,1-1,0 МВт) и около 55 котельных в системе централизованного теплоснабжения (0,5-12 МВт). Кроме того, 8 ТЭЦ (2-28 МВт_т) и 4 электростанции совместно с соломой используют древесную щепу, ТБО или ископаемые топлива (уголь, природный газ). Самой крупной по объему потребления соломы (170 тыс. т/год) является электростанция Фул мощностью 35 МВт_т, [13, 63, 64]. Солома, главным образом, большие тюки, доставляется на ТЭС грузовиками с прицепом, радиус поставки – 20-160 км. Зола от сжигания соломы передается компании, производящей органические удобрения, или фермерам для рассеивания на полях. Неиспользованный остаток золы вывозится на свалки [81].

В Великобритании (Ely) работает одна из самых крупных в мире электростанций на соломе – 38 МВт_т. Солома зерновых культур, объемом около 200 тыс. т/год, является основным топливом на этой ТЭС. До 10% общего объема топлива составляют также другие виды биомассы и природный газ [42]. Планируется сооружение второй ТЭС на соломе мощностью 40 МВт_т. Электростанция будет работать по датской технологии и должна быть запущена в эксплуатацию в начале 2016 года [62].

¹ Типичный размер и вес: малый тюк – 46×36×80 см (12 кг); средний тюк – 80×80×240 см (235 кг); большой тюк – 125×240×240 см или 120×130×240 см (>500 кг); круглый тюк – Ø150 см × 120 см (244 кг) [13, 63].

По крайней мере, две электростанции на соломе эксплуатируются в Испании. Первая, мощностью 25 МВт_э (Sangüesa), потребляет 160 тыс. т/год соломы, поставляемой местными фермерами в радиусе 75 км. Зола от сжигания соломы используется для производства органического удобрения. Для второй ТЭС 16 МВт_э (Biviesca) 17 специализированных компаний поставляют 102 тыс. т соломы в год. Внедрение этой электростанции привело к созданию 100 постоянных новых рабочих мест [42, 65, 68]. Известно, что компания Acciona Energía (Испания), которая внедрила эти две ТЭС, имеет долгосрочные планы по строительству еще 7 электростанций по всей стране [81].

В Польше использование соломы для производства энергии началось еще в 1990-х годах. Толчком к этому было сокращение поголовья скота, в результате чего образовался избыток соломы в 8 млн. т/год. Сейчас в Польше работают около 100 котлов малой мощности (~100 кВт) на соломе и более 40 небольших и средних котельных в системе централизованного теплоснабжения (0,5-7 МВт) [82-84]. Кроме того, датская компания DP CleanTech вместе с польской компанией Polish Energy Partners (PEP) выполняет строительство соломосжигающей электростанции мощностью 30 МВт_э (Winsko). Дополнительным топливом на ТЭС будет древесная щепа. Ввод электростанции в эксплуатацию запланирован на конец 2014 года [85].

Следует также отметить, что до последнего времени в Польше гранулы из соломы активно использовались на угольных электростанциях для совместного сжигания. Так, например, только польская компания PEP поставляла для ТЭС 150 тыс. т гранул в год. Но, в 2013 году ситуация изменилась, поскольку польское правительство отменило государственную субсидию для электростанций, осуществляющих совместное сжигание угля и гранул из биомассы.

В Швеции рынок соломы как топлива находится в процессе развития. Сейчас в стране работает сравнительно небольшое количество фермерских котлов на соломе и котлов в системе централизованного теплоснабжения. Компания Lunds Energi выполняет постройку крупной ТЭЦ на биомассе (Örtofta). ТЭЦ будет включать котел 110 МВт на древесной щепе, котел 45 МВт на соломе и турбину мощностью 53 МВт_э. Потребление соломы составит около 80 тыс. т/год. Становление коммерческого рынка соломы в Швеции специалисты связывают с вводом в эксплуатацию ТЭЦ Örtofta [81].

Технологии производства энергии из соломы активно развиваются также в Китае. Компания DP CleanTech в период 2006-2012 гг. внедрила в стране 34 электростанции на соломе общей мощностью 1200 МВт_э. Типичным примером является ТЭС 30 МВт_э (160 тыс. т соломы в год) в Liaoyuan, поставляющая 200 ГВт·ч/год электроэнергии в национальную сеть [66, 67].

Растительные сельскохозяйственные отходы широко применяются в Европе и Северной Америке также для производства твердого биотоплива. Так, гранулы из соломы производятся в Литве (Baltic Straw), Великобритании (Straw Pellets Ltd, Agripellets Ltd), Эстонии (BJ TOOTMISE OÜ), Польше (Widok Energia SA), Канаде (Semican), США (PowerStock); брикеты из соломы – Эстонии (BaltPellet OÜ), Дании (CF Nielsen A/S), Канаде (Omtec), Литве (Baltic Straw) и других странах. Американские компании Next Step Biofuels,

Pellet Technology USA и PowerStock предлагают на рынке гранулы из отходов производства кукурузы на зерно.

Технологии сбора основных сельскохозяйственных культур и пути использования пожнивных остатков в Украине

Украина имеет высокоразвитый сектор сельского хозяйства, в частности растениеводства, который ежегодно генерирует большой объем разнообразных отходов и остатков. Отходы делятся на первичные, то есть те, что образуются непосредственно при сборе урожая сельскохозяйственных культур, и вторичные – генерируемые при обработке урожая на предприятиях. Первичные отходы включают солому зерновых и других культур, отходы производства кукурузы на зерно и подсолнечника (стебли, обмолоченные кочаны, корзинки и т.д.). Вторичные отходы – это лузга подсолнечника, шелуха гречки, риса, жом сахарной свеклы и т.п. Часть отходов и остатков используется на нужды самого сельского хозяйства (органическое удобрение, подстилка и корм скоту), часть – другими секторами экономики, а оставшая биомасса остается незадействованной и часто утилизируется (сжигается в поле, вывозится на свалку) без принесения пользы. Значительную часть неиспользуемой биомассы представляется целесообразным привлечь к производству энергии. При этом важным является вопрос, какую долю отходов и остатков сельского хозяйства можно использовать на энергетические нужды без негативного влияния на плодородие почв.

Солома зерновых культур

Производство зерновых и зернобобовых культур² в Украине составляет порядка 40-50 млн. т в год с урожайностью 25-30 ц/га. По предварительным данным, в 2013 году был достигнут рекордный объем производства зерновых – 63 млн. т с рекордной урожайностью почти 40 ц/га (Рис. 1, 2). Сегодня под зерновые колосовые культуры в Украине отведено 39% общей посевной площади, что почти совпадает с данными 1990 г., тогда как площади под кукурузой увеличились в 4 раза (Рис. 3). Другими тенденциями являются рост площадей под подсолнечником (почти в 4 раза по сравнению с 1990 г.) и сокращение площадей под кормовыми культурами.

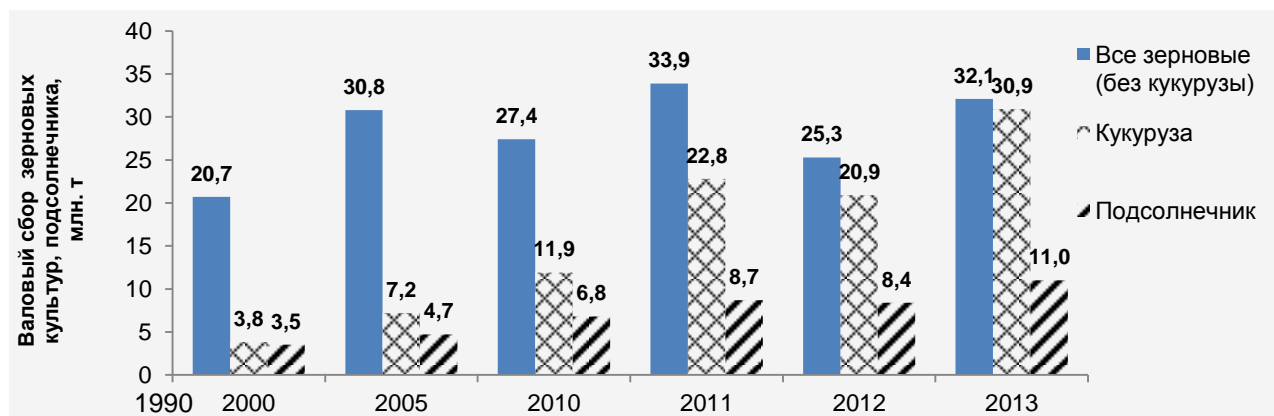


Рис. 1. Динамика производства зерновых культур и подсолнечника³ в Украине, млн. т [1, 15]

² Далее для сокращения будет использоваться термин «зерновые» культуры.

³ Кукуруза относится к зерновым культурам, подсолнечник – к техническим.

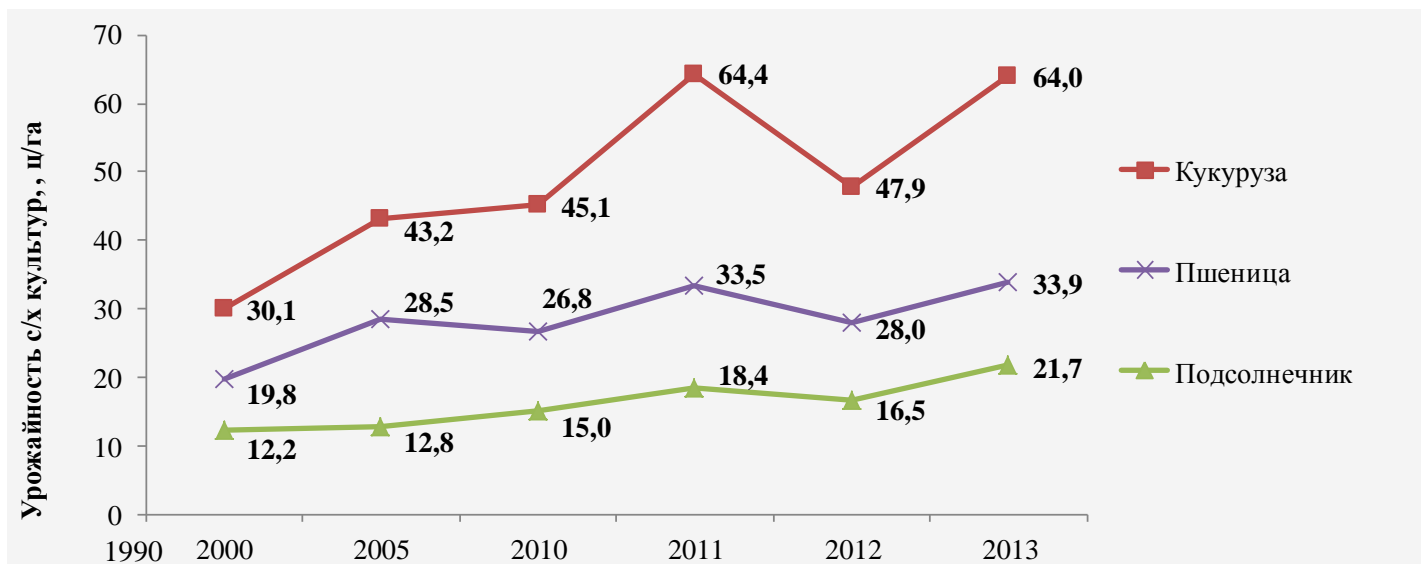


Рис. 2. Динамика урожайности зерновых культур и подсолнечника в Украине, ц/га [1, 15]

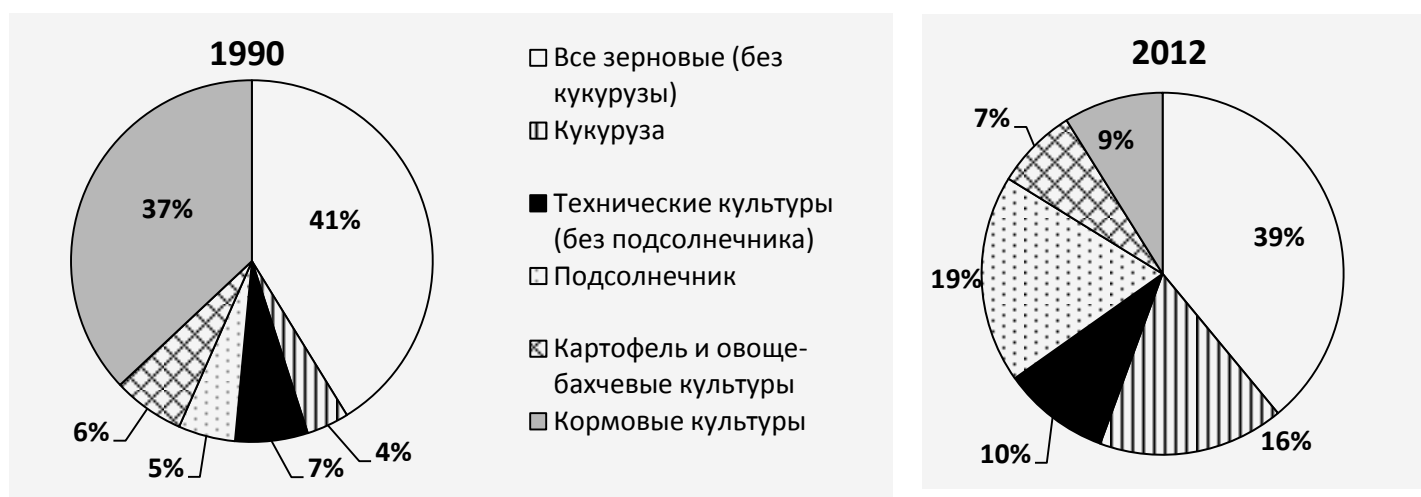


Рис. 3. Динамика структуры посевных площадей сельскохозяйственных культур в Украине [1]

Солома является отходом производства зерновых культур. Соотношение зерновой части урожая и незерновой (соломы)⁴ составляет примерно 1:1⁵, поэтому годовые объемы образования соломы близки к общему производству зерновых культур в Украине.

В процессе уборки урожая зерновая часть культуры отделяется от стеблевой, дальнейший способ заготовки соломы зависит от применяемой технологии. Часть соломы остается в виде стерни в поле, позже она запахивается в почву.

⁴ Коэффициент отходов.

⁵ Кроме кукурузы, для которой этот показатель составляет 1:1,3. Отходы производства кукурузы на зерно детально рассматриваются в отдельном разделе. Более детальная информация по коэффициентам отходов представлена в разделе «Потенциал растительных отходов сельского хозяйства, доступных для производства энергии».

В Украине применяются следующие технологии заготовки соломы зерновых колосовых культур [16, 18]⁶:

- *Потоковая* (**Рис. 4**). Измельченная зерноуборочным комбайном солома собирается в сменные прицепы и вывозится в места складирования (скирдования). При отсутствии прицепа солома разбрасывается по полю.

- *Копновая*. Копнителем, входящим в состав комбайна, формируются копны массой 150-300 кг, которые в процессе работы комбайна выгружаются на поле на стерню. Копны собираются с поля преимущественно тросовыми или толкательными волокушами. В случае формирования копен-блоков они вывозятся копновозами/стогавозами.

- *Валковая*. С помощью валкоукладчика комбайна солома складывается в валки. Существуют различные варианты подбора валков, один из которых – формирование плотных тюков пресс-подборщиками (**Рис. 5-8**).

- *Рассеивательная*. В процессе обмолота зерновых культур выполняется измельчение и рассеивание (разбрасывание) соломы по полю.



Рис. 4. Потоковый сбор соломы [16]



Рис. 5. Укладывание неизмельченной соломы в валки [16]



Рис. 6. Укрупнение валков

⁶ Возможны варианты комбинации технологий [16].



Рис. 7. Пресс-подборщик Lely Welger



Рис. 8. Пресс-подборщик KRONE BIG Pack

Ранее в Украине широко применялась копновая технология сбора соломы, а на сегодняшний день наиболее распространенной является *потокковая* технология. Согласно *потокковой* технологии зерноуборочный комбайн измельчает солому в сечку, которая накапливается в грузовом прицепе. После этого солома перемещается к месту хранения, скирдуеться и хранится в больших стогах, как правило, не накрытых. Такой способ хранения приводит к ее чрезмерному увлажнению вследствие большого количества осадков. Другим вариантом потокковой технологии является разбрасывание измельченной соломы по полю.

Валковая технология уборки соломы предусматривает возможность последующего тюкования. Это важно с точки зрения транспортировки соломы на средние и относительно большие расстояния и использования в качестве топлива для котлов. Тюкованная солома может храниться под навесом или в закрытом хранилище, что позволяет защитить ее от увлажнения и загрязнения. Тюкование значительно уменьшает объем соломы и позволяет механизировать ряд операций при ее складировании, транспортировке, погрузке-разгрузке.

Собранная солома зерновых культур используется для различных целей (Рис. 9): на нужды животноводства (подстилка и грубый корм для скота), как органическое удобрение, для выращивания грибов в закрытом грунте, а также на энергетические нужды (сжигание в котлах, производство гранул/брикетов). Неиспользованный остаток, который в целом по стране представляет собой довольно большой объем, часто сжигается на полях, что является официально запрещенным в Украине и вредным для окружающей среды и почвы.

Солома как *органическое удобрение* применяется для образования гумуса в верхнем слое почвы. Гумус – органическая часть почвы, которая образуется в результате разложения растительных и животных остатков и продуктов жизнедеятельности организмов. Поддержание надлежащего баланса гумуса способствует биологической активизации почвы, а также ее противозерозионной защите.

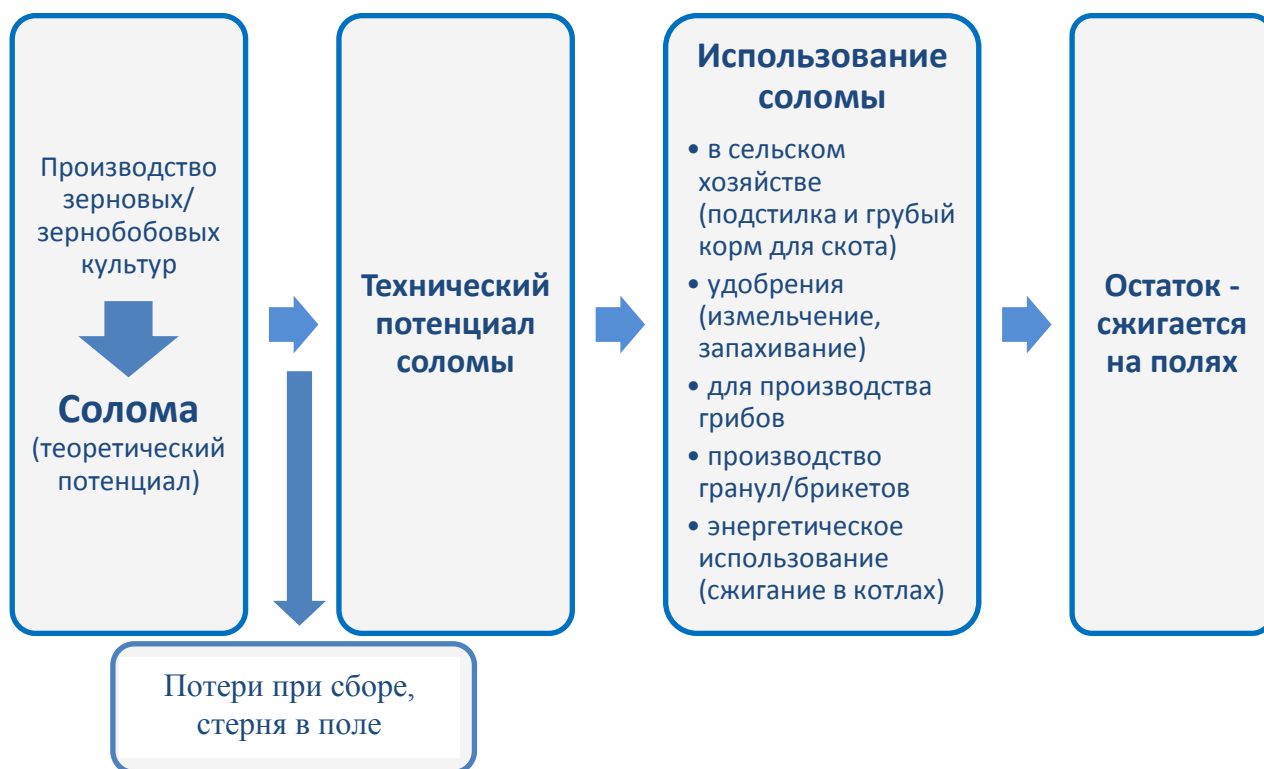


Рис. 9. Образование и использование соломы в Украине



Рис. 10. Примеры сжигания соломы на полях в Украине
(фото, сделанные специалистами БАУ)

Следует отметить, что вследствие недостаточного применения минеральных удобрений в течение последних 20 лет, существенного уменьшения внесения органических удобрений⁷ (Таблица 1) и сжигания соломы на полях, произошло существенное уменьшение содержания и запасов гумуса в почве. В среднем за 2000-2012 гг. вносили менее 1 т/га органических удобрений, тогда как минимальная их норма для обеспечения бездефицитного баланса гумуса в зависимости от почвенно-климатической зоны, должна составлять от 8 до

⁷ Внесение навоза уменьшилось с 7-10 т/га в 1990 году до 0,4-0,7 т/га в настоящее время [71].

14 т/га. На сегодняшний день потери гумуса наблюдаются во всех климатических зонах Украины. При существующей структуре посевных площадей в целом по стране ежегодные потери гумуса составляют 0,6-0,7 т/га [24, 75]. По результатам агрохимической паспортизации земель сельскохозяйственного назначения, каждые 5 лет почвы Украины теряют в среднем 0,05% гумуса [87].

Таблица 1. Внесение минеральных и органических удобрений в Украине [1]

| | 1990 | 2000 | 2005 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|--|---|------|------|------|------|------|------------|
| | <i>Минеральные удобрения, кг питательных веществ/га</i> | | | | | | |
| Внесено под все посевы, в том числе: | 141 | 13 | 32 | 48 | 58 | 68 | 72 |
| азотных | 59 | 10 | 22 | 35 | 43 | 48 | 50 |
| калийных | 39 | 1 | 4 | 6 | 8 | 9 | 10 |
| фосфорных | 43 | 2 | 6 | 7 | 7 | 11 | 12 |
| Внесено под посевы: | | | | | | | |
| зерновых и зернобобовых культур | 132 | 15 | 35 | 51 | 63 | 71 | 79 |
| технических культур | 260 | 18 | 39 | 49 | 57 | 67 | 66 |
| | <i>Органические удобрения*, т/га</i> | | | | | | |
| Внесено под все посевы, в том числе под посевы: | 8,6 | 1,3 | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| зерновых и зернобобовых культур | 6,5 | 0,8 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,5 |
| технических культур | 17,5 | 3,1 | 1,2 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |

* Навоз, различные компосты, органоминеральные смеси, птичий помет и др.

Расчеты специалистов показали, что солома является самым дешевым источником пополнения почвы органическими веществами. Использование ее на удобрение с добавлением 10 кг азота на 1 тонну соломы обходится в 11 раз дешевле, чем применение минеральных удобрений и в 4-5 раз дешевле по сравнению с внесением навоза [71]. Солому на удобрение следует вносить в первую очередь на обедненных почвах [21].

Удобрение соломой – непростое агромероприятие. Солому необходимо измельчить, равномерно распределить по поверхности поля и запахать в почву. При ненадлежащем внесении соломы возникают нежелательные явления, такие как забивание рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин, незаделка или неравномерная глубина заделки семян в почву, недостаточный контакт семян с почвой, увеличение числа возбудителей болезней и вредителей, снижение эффективности действия гербицидов [18].

Для того чтобы солома стала по-настоящему ценным органическим удобрением, а не наполнителем, который мешает обработке почвы, она должна как можно быстрее разлагаться. Солома быстрее разлагается при хорошем доступе воздуха в почву (в аэробных условиях). На нейтральных почвах, хорошо обеспеченных питательными элементами, солома разлагается в течение 3-4 лет, на кислых тяжелых почвах – 4-5 лет. Глубокая заплата соломы вызывает неблагоприятный эффект, так как при ее разложении в нижних слоях

пахотного горизонта образуются летучие жирные кислоты, которые негативно влияют на корневую систему растений. При внесении в верхнюю треть пахотного слоя солома разлагается быстрее и накопления вредных веществ не наблюдается.

Из-за бедности соломы азотом ($C:N = 60-100^8$) она забирает 40-50 кг/га почвенного азота на собственную минерализацию до достижения соотношения $C:N=20$. Поэтому в первый период своего роста и развития растения испытывают недостаток азота, если в почву вместе с соломой не вносят азот минеральных удобрений [20, 24].

К отрицательным свойствам соломы следует отнести ее депрессивное действие на культуру, под которую она вносилась в качестве удобрения. Установлено, что помимо широкого соотношения $C:N$, ингибиторное действие связано с присутствием в соломе растворимых форм органических соединений. Водная вытяжка из свежей соломы тормозит развитие растений. В соломе и продуктах ее разложения выявлен ряд производных фенола, которые оказывают токсическое воздействие на растения. В почве продукты разложения соломы (кислоты) заметно ингибируют рост растений. Фитотоксичный эффект продуктов разложения проявляется в задержке роста корней, нарушении обмена веществ, а также возникновении болезни растений – хлороза⁹. Особенно много вредных соединений накапливается при анаэробном разложении соломы. В аэробных условиях и в почвах с высокой биологической активностью токсичные соединения разлагаются быстрее. Опытами установлено, что большое значение в устранении депрессивного эффекта соломы на растения имеет азот. Его высокие дозы сводят к минимуму депрессивное влияние вытяжки из соломы [19].

Солома широко используется в животноводстве в качестве *подстилки для скота*. Соломенная подстилка является универсальным покрытием, она удобна и экологически безопасна для здоровья животных, способна поглощать вредные газы – аммиак, сероводород. Применение соломы в качестве подстилки способствует не только увеличению накопления навоза, но и повышению его качества. Наряду с преимуществами соломы как подстилочного материала существуют и недостатки, такие как быстрая слеживаемость, достаточно скользкая поверхность, высокая пораженность микроскопическими грибами, запыленность помещения в процессе внесения подстилки. Кроме соломы в качестве подстилки также используются торф, древесные опилки, стружка, песок, листья, иногда бумажные обрезки [8-10, 22, 23].

Еще одним направлением использования соломы в животноводстве является ее применение в качестве *грубого корма для скота*. В предыдущие годы аграриями было испробовано много методов для подготовки соломы к скармливанию с целью повышения ее питательности. Основной вывод – для высокопродуктивных животных солома является малоценным кормом, и использовать ее целесообразно только как добавку, которая при определенных рационах кормления может обеспечить потребности животных в клетчатке [30].

⁸ Для сравнения: в навозе $C:N=20-25$, в почве $C:N=8-12$ [24].

⁹ Хлороз – болезнь растений, при которой нарушается образование хлорофилла в листьях и снижается активность фотосинтеза.

Сразу после уборки урожая зерновых влажность соломы составляет 15-20% (теплота сгорания $Q = 12-15$ МДж/кг). Дальнейшее пребывание соломы на поле приводит не только к снижению ее влажности до 14-17% ($Q = 14-15$ МДж/кг), но и способствует вымыванию хлора и калия, что повышает качество соломы как топлива [55]. Для сжигания в котлах применяют солому с влажностью до 20%, при производстве гранул влажность соломы не должна превышать 12-14%.

Что касается *энергетического направления* утилизации соломы, на сегодня в Украине есть определенный опыт ее применения для производства энергии и биотоплива. В сельской местности эксплуатируются около 100 котлов/теплогенераторов на тюках соломы. Примерно 45 из них – котлы украинской компании «Южтеплоэнергомонтаж», 10 единиц – котлы датских фирм Faust и Passat Energi, другие – теплогенераторы украинской компании «Бриг». Общая установленная мощность этого оборудования оценивается в 70 МВт_т.

Также развивается производство гранул и брикетов из соломы: в 2012 году было произведено 21,7 тыс. т гранул и 2 тыс. т брикетов. Осенью 2012 г. была запущена первая очередь завода «Вин-Пеллета» (Винницкая область) производительностью 75 тыс. тонн гранул из соломы в год. В 2014 г. «Вин-Пеллета» должна запустить вторую очередь и выйти на конечную проектную мощность – 150 тыс. т/год. В дальнейшем компания «Смарт Энерджи», которой принадлежит «Вин-Пеллета», намерена продолжить строительство таких заводов в разных регионах страны и довести их количество до 20 общей годовой мощностью 2,5-3 млн. т гранул из соломы [17]. Кроме того, агрохолдинг KSG Agro планирует в 2014 году запустить завод по производству гранул из соломы мощностью 60 тыс. т/год (Днепропетровская область). Будет использоваться собственное сырье агрохолдинга. В ближайшие годы планируется строительство еще двух заводов – в Днепропетровской области и в Крыму.

Для более широкого внедрения энергетического оборудования на соломе в Украине необходимо переходить с потоковой технологии уборки соломы к валковой с последующим тюкованием.

Отходы производства кукурузы на зерно

Кукуруза – одна из самых распространенных и важных сельскохозяйственных культур в мире, в том числе и в Украине. В 2013 году валовой сбор кукурузы на зерно в Украине достиг наивысшего уровня с 1990 года - 31 млн. т с почти рекордной урожайностью 64 ц/га. При этом площадь, с которой собран урожай кукурузы, выросла в 4 раза по сравнению с 1990 годом (**Таблица 2**) [1, 15].

Таблица 2. Производство и урожайность кукурузы на зерно в Украине [1, 15]

| Показатель | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|--|------|------|------|------|------|------|-------------|------|-------------|
| Валовой сбор, млн. т | 4,7 | 3,4 | 3,8 | 7,2 | 10,5 | 11,9 | 22,8 | 20,9 | 30,9 |
| Урожайность, ц/га | 38,7 | 29,2 | 30,1 | 43,2 | 50,2 | 45,1 | 64,4 | 47,9 | 64,0 |
| Площадь, с которой собрано урожай, тыс. га | 1223 | 1161 | 1279 | 1660 | 2089 | 2648 | 3544 | 4372 | 4825 |

Незерновой частью урожая (НЧУ) кукурузы является главным образом стебель и обмолоченный кочан. По данным Национальной академии аграрных наук Украины, отношение НЧУ к зерну составляет 1,3. Исходя из этого показателя и данных по производству кукурузы в стране в 2013 году, объем пожнивных остатков оценивается в более чем 40 млн. т. Таким образом, можно утверждать, что Украина имеет очень большой потенциал биомассы в виде отходов производства кукурузы на зерно.

Кукуруза известна как культура, которая формирует большую вегетативную массу в течение сезона, и накапливает много органики. Вследствие интенсивного выноса этим растением из почвы азота, фосфора, калия и микроэлементов применяют традиционные приемы агротехники, которые заключаются в массовом внесении больших норм минеральных удобрений для компенсации потерь [27]. Наиболее эффективным является совместное внесение минеральных и органических удобрений. В качестве последних применяют пожнивные остатки самой кукурузы, солому, навоз. В балансе гумуса значительную роль играют пожнивные остатки (стебли, листья), которые пополняют запасы органического вещества. При запахивании пожнивных остатков кукурузы и внесении удобрений содержание гумуса в почве постепенно увеличивается. Так, при запахивании 5 т/га сухого вещества листостебельной массы образуется до 750 кг/га гумуса [26]. Существует мнение, что солома и стебли кукурузы в 2,3 раза по эффективности превышают внесение навоза. Это эффективное легкодоступное удобрение, однако, оно требует правильного применения [25].

Стебли кукурузы, как и солома зерновых культур, относятся к грубым кормам для скота. Такие корма широко используются в зимний период, тогда как летом предпочтение отдается зеленым кормам [29, 31].

В зависимости от направления последующего использования, кукурузу собирают на зерно и на силос. На зерно кукурузу собирают такими способами:

- а) с очищением початков;
- б) в неочищенных початках;
- в) с обмолотом початков.

В зависимости от используемой техники и технологии сбора, листостебельная масса после уборки зерновой части может быть получена в следующем виде:

- 1) собранная, измельченная и загруженная в транспортные средства
- 2) измельченная и разбросана по полю для последующего запашки;
- 3) оставленные стебли и листья без початков в поле (эта технология широко распространена в США). Дальнейшее скашивание, измельчение и запашка проводятся с помощью другой техники. Возможно также тюкование стеблей.

Следует отметить, что с точки зрения энерго- и ресурсосбережения наиболее целесообразным подходом считается одновременный сбор всего биологического урожая кукурузы (т.е. без оставления нескошенных стеблей в поле) с комбайновым обмолотом початков в поле.

В Украине сегодня наиболее распространенной является технология сбора кукурузы, предусматривающая обмолот початков в поле, а также измельчение и разбрасывание по полю обмолоченных кочанов и листостебельной массы¹⁰. Сбор измельченных пожнивных остатков не выполняется. Лишь немногие хозяйства собирают кукурузу в необмолоченных початках с последующим стационарным обмолотом, что дает возможность сбора обмолоченных кочанов. Это семенные заводы, целью выращивания кукурузы на которых является получение (гибридных) семян кукурузы в качестве посадочного материала.

Для использования пожнивных остатков кукурузы в качестве биотоплива необходимо обеспечить их сбор. Это возможно при применении технологий сбора урожая, которые предусматривают загрузку измельченной листостебельной массы в транспортные средства¹¹ или/и стационарный обмолот початков¹².

Другой вариант заключается в развитии технологий тюкования стеблей для варианта, когда собирают только зерновую часть урожая, а нескошенные стебли оставляют в поле¹³. Примеры применения пресс-подборщиков высокого давления (Massey Ferguson, Vermeer) для тюкования стеблей кукурузы существуют в США. Обычно операция тюкования выполняется, когда стебли имеют влажность <20-25%¹⁴, чтобы избежать проблем при хранении тюков. Собранные таким образом стебли американские фермеры используют как подстилку и корм для скота [35, 38, 76, 77].

В Украине на сегодня нет техники для тюкования стеблей кукурузы, поскольку эта технология до сих пор была невостребованной.

Важным вопросом для возможности использования в энергетических целях является влажность стеблей и обмолоченных кочанов кукурузы. Сразу после уборки влажность стеблей находится в пределах 45-60% (теплота сгорания 5-8 МДж/кг). При высушивании стеблей на воздухе можно достичь влажности 15-18% (Q=15-17 МДж/кг) [55]. Сбор урожая кукурузы без обмолота початков начинают при влажности зерна не более 40%, а с обмолотом - при 30%. Стержни початков кукурузы всегда более влажные, чем зерно (35-45%), но при сушке интенсивнее испаряют влагу [2-6]. Обычно кукурузу на зерно собирают в октябре-ноябре. Некоторые хозяйства в последние годы делают это в декабре-январе и даже позже, но это связано не с агротехническими требованиями, а с производственными потребностями и экономической целесообразностью [74].

¹⁰ Комбинация технологий **в**) и **2**) обозначенных выше.

¹¹ Технология **1** из указанных выше.

¹² Технологии **а**), **б**) из указанных выше.

¹³ Технология **3**) из указанных выше.

¹⁴ По оценке американских специалистов, в зависимости от погодных условий, тюкование стеблей кукурузы следует выполнять через 2-7 дней после уборки урожая [77].



Рис. 11. Сбор кукурузы



Пресс-подборщик Massey Ferguson (США) [36]



Пресс-подборщик Vermeer (США) [37]

Рис. 12. Пресс-подборщики для стеблей кукурузы



Рис. 13. Стебли кукурузы и тюки из стеблей

На сегодня в Украине есть только единичные примеры энергетического применения пожнивных остатков кукурузы. Так, Черкасытеплокоммунэнерго использует в качестве топлива обмолоченные кочаны кукурузы, которые им поставляет семенной завод «Черлис»

(Черкассы). Кроме того, для второй очереди ТЭС мощностью 12 МВт_э в пгт. Иванков Киевской области как альтернатива древесной щепе рассматривается также вариант использования стеблей кукурузы. Аграрные предприятия Иванковского района декларируют доступность 90 тыс. т в год этого вида биомассы.

Для возможности использования стеблей кукурузы в энергетических целях можно предложить переход на «американскую» технологию уборки кукурузы, т.е. с оставлением стеблей в поле, с последующим тюкованием, после того как стебли достаточно подсохнут на воздухе. Собранные таким образом стебли могут быть использованы для производства гранул/брикетов или непосредственно как топливо в котлах.

Альтернативой полезной утилизации растительных остатков кукурузы может быть производство из них биогаза путем анаэробного сбраживания и использования сброженной массы как ценного органического удобрения. В отличие от внесения золы после сжигания растительных остатков, это позволяет восстанавливать плодородие почв на уровне, который был до сбора урожая, поскольку практически вся масса биогенных элементов и соединений в трансформированном виде возвращается в поле.

Вместе с тем, следует отметить, что использование растительных остатков после созревания и сбора целевого урожая (зерна) для производства биогаза имеет определенные ограничения. Такая растительная масса в значительной пропорции составлена из лигноцеллюлозных комплексов, трудно поддающихся биологическому разложению. Разрушение таких комплексов требует применения специальных мер, таких как термическая или термофизическая обработка, механическое тонкодисперсное измельчение, химическая обработка, внесение специальных энзимных препаратов и т.д. [86]. Впрочем, часто такие методы слишком затратные по сравнению с полученным эффектом, что ограничивает их применение на практике. Поэтому для производства биогаза традиционно используют растительную биомассу (стебли, листья и початки кукурузы, сорго, мискантуса, колосовых культур до начала созревания зерна, когда растение еще зеленое), которая не требует дополнительной предварительной обработки, кроме силосования. Кроме того, исследования показывают низкую эффективность монображивания растительного сырья после созревания из-за слишком высокого соотношения C:N и дефицита некоторых микроэлементов. Чаще растительную биомассу сбраживают вместе с навозными отходами животноводства.

Отходы производства подсолнечника

Подсолнечник также является одной из основных сельскохозяйственных культур в Украине. Как и в случае кукурузы, в 2013 году в Украине был собран рекордный урожай подсолнечника – 11 млн. т при самой высокой за последние 20 лет урожайности – 21,7 ц/га. Площадь, с которой собран урожай подсолнечника, выросла в 3 раза по сравнению с 1990 годом (**Таблица 3**) [1, 15].

Потенциал отходов производства подсолнечника (стебли, корзины) в Украине является очень большим. Исходя из данных по валовому сбору в 2013 году и ориентировочного отношения НЧУ к семенам (2,0), он оценивается в 22 млн. т.

Таблица 3. Производство и урожайность подсолнечника в Украине [1, 15]

| Показатель | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| Валовой сбор, млн. т | 2,6 | 2,8 | 3,5 | 4,7 | 6,4 | 6,8 | 8,7 | 8,4 | 11,0 |
| Урожайность, ц/га | 15,8 | 14,2 | 12,2 | 12,8 | 15,2 | 15,0 | 18,4 | 16,5 | 21,7 |
| Площадь, с которой собран урожай, тыс. га | 1626 | 2008 | 2842 | 3689 | 4193 | 4526 | 4717 | 5082 | 5089 |

Из семян подсолнечника производят пищевое и техническое масло; жмых (остатки после выжимания масла) является питательным кормом для скота, а стебли подсолнечника могут идти на силос¹⁵.

Подсолнечник собирают в сентябре-ноябре. При уборке культуры в оптимальной фазе спелости влажность корзинок составляет 70-75%, стеблей – 60-70% [57].

Подсолнечник собирают зерноуборочными комбайнами, оборудованными жатками. Если агрегат «комбайн-жатка» оснащен измельчителем, то он обеспечивает срезание растения, обмолот корзинок, сбор семян в бункер, измельчение обмолоченных корзинок со стеблями и разбрасывание их на поле или сбор в прицеп. Другой вариант сбора подсолнечника состоит в обмолоте корзинок и их сборе в копнитель в целом виде с последующей выгрузкой на поле небольшими копнами. Стебли, оставшиеся после уборки, подрезают и измельчают дисковыми луцильниками. После этого их сгребают в валки, из которых формируют копны [58-60]. Именно эта технология (с оставлением стеблей в поле) применяется в Украине.

Для возможности использования отходов производства подсолнечника в энергетических целях необходимо обеспечить их сбор. Как и в случае кукурузы, учитывая высокую естественную влажность отходов, в качестве стратегического направления развития с определенными ограничениями можно рекомендовать силосование стеблей подсолнечника с последующим производством биогаза. Альтернативный вариант – тюкование достаточно подсохших в поле стеблей, с последующим сжиганием в котлах или использованием в качестве сырья для производства гранул/брикетов.

На сегодняшний день в Украине нет примеров использования пожнивных остатков подсолнечника для производства энергии. Активно утилизируется только лузга подсолнечника – для изготовления гранул/брикетов и как топливо для котлов, работающих на маслоэкстракционных заводах и других предприятиях масложировой отрасли.

¹⁵ **Силос** – сочный корм (силосованный корм) для с/х животных, обладающий высокими питательными свойствами. Такой корм, заложенный в специальные силосные хранилища – специальные траншеи, ямы, силосные башни, может сохраняться в течение нескольких лет. В сельском хозяйстве используется для заквашивания (силосование – консервирование без доступа воздуха, является наиболее распространённым способом заготовки) измельчённой зелёной массы травянистых растений, пригодной для корма животных и птиц. Используется: подсолнечник, кукуруза, неядовитые сорняки, ботва овощных культур и т.д.).

<http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D1%81>



Рис. 14. Сбор подсолнечника



Рис. 15. Поле после сбора подсолнечника ¹⁶

Свойства растительных отходов как топлива

Растительные отходы как топливо имеют ряд отрицательных свойств, что требует довольно тщательного подхода к их применению. Так, солома может содержать хлор и щелочные металлы (Таблица 4), благодаря чему 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 – 800-950°C (для сравнения – у древесины ~1200°C), что может привести к шлакованию элементов энергетического оборудования.

Однако 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 использование не «желтой»

¹⁶ <http://pluga.net/media/photogallery/>

(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.

Таблица 4. Химический состав и некоторые характеристики биотоплива растительного происхождения

| Показатели | Свежая солома («желтая») [63] | Солома, хранившаяся на поле, («серая») [63] | Солома пшеницы* [80] | Стебли кукурузы* [72] | Стебли подсолнечника* [80] | Древесная щепа (для сравнения) [63] |
|---------------------------------|-------------------------------|---|---------------------------------|--|--|-------------------------------------|
| Влажность, % | 10-20 | 10-20 | нет данных | 45-60 [55] (после сбора) 15-18 [55] (высушенные на воздухе) | 60-70% [57] (после сбора) ~20** (высушенные на воздухе) | 40 |
| Низшая теплота сгорания, МДж/кг | 14,4 | 15 | 17 (высшая теплота сгорания) | 16,7 (с.в.) 5-8 (W 45-60%) [55] 15-17 (W 15-18%) [55] | 16 [14] (W<16%) | 10,4 |
| Содержание летучих веществ, % | >70 | >70 | 73 | 67 78 [79] | 73 [14] | >70 |
| Зольность, % | 4 | 3 | 9,6 2,6 [73] | 6,7 6-9 [73] 3,5 [79]; 5,3 [80] | 10 12,2 [14] | 0,6-1,5 |
| Элементарный состав, %: | | | | | | |
| углерод | 42 | 43 | 43,1 | 45,5 | 44,1 | 50 |
| водород | 5 | 5,2 | 5,3 | 5,5 | 5,0 | 6 |
| кислород | 37 | 38 | 39,8 | 41,5 | 39,4 | 43 |
| хлор | 0,75 | 0,2 | 0,8 | 0,2 [80] 0,984 мг/г; 2-3 мг/г [78] | 0,7 0,81 [14] | 0,02 |
| калий (щелочной металл) | 1,18 | 0,22 | 6,1 мг/кг с.в. | обмолоченные кочаны: 6,1 мг/кг с.в. [80] | 5,0 [14] | 0,13-0,35 [14] |
| азот | 0,35 | 0,41 | 0,6 | 0,69; 0,3 [80] | 0,7 | 0,3 |
| сера | 0,16 | 0,13 | 0,2 | 0,04 | 0,1 | 0,05 |
| Температура плавления золы, °С | 800-1000 | 950-1100 | 1040-1250 | 1050-1200 1100-1200 [78] | 800-1270 [14] | 1000-1400 |

с.в. – сухое вещество; W – влажность.

** Данные по содержанию летучих веществ, зольности, элементарному составу -% массы сухого вещества.*

*** Экспертная оценка БАУ.*

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 (см. **Табл. 1**).

Стебли кукурузы также содержат хлор и щелочные металлы. Согласно данным [80], содержание хлора составляет 0,2% массы сухого вещества, что близко к показателю «серой»

соломы. Содержание калия, исходя из имеющихся данных для стержней кукурузы, такое же, как в соломе (6,1 мг/кг с.в.). Температура плавления золы у стеблей кукурузы выше, чем у соломы – 1050-1200 °С [72]. Это является положительным фактором с точки зрения применения в качестве топлива. Кроме того, в стеблях кукурузы почти на порядок меньше содержание серы, чем в соломе.

Проведенное исследование [73] показало возможность успешного сжигания тюков из стеблей кукурузы в котле¹⁷, предназначенном для тюкованной соломы зерновых культур. Одно из 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.¹⁸/м³), а низкой и средней (~80 кг с.в./м³). В этом случае объем золы снижается до 6,2 %. Средний уровень выбросов СО при сжигании стеблей кукурузы был выше, чем для соломы (2725 мг/м³ против 2210 мг/м³), а NO_x и SO₂ - ниже (мг/м³): 9,8 против 40,4 и 2,1 против 3,7, соответственно.

О стеблях подсолнечника как о топливе информации пока немного. По данным [80] их элементарный состав близок к составу соломы и стеблей кукурузы, но содержание золы выше – около 10% массы сухого вещества. Содержание щелочного металла калия также существенно выше – до 5% массы с.в. Примеров производства энергии из стеблей подсолнечника на сегодня не найдено.

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

Одним из важнейших вопросов является то, 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 исследования по этой проблеме и практический опыт других стран.

В Европейском Союзе и вообще в мире наибольший опыт энергетического использования соломы имеет Дания. В этой стране, в среднем, из 5,5-6 млн. т образованной 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, и свободный остаток составляет порядка 2,3 млн. т (42%) (данные 2004-2008 гг.¹⁹). Многочисленные исследования, проведенные в Дании, показали, что имеющийся и ожидаемый в будущем объем соломы намного превышает потребности всех существующих направлений потребления [13].

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

¹⁷ Котел Farm 2000 (Великобритания)

http://www.farm2000.co.uk/farm2000.co.uk/Fuels_%26_Boiler_Type.html

¹⁸ с.в. – сухое вещество

¹⁹ В 2012 году ситуация была практически одинаковой [39]

мощностью 38 МВт, [32, 42]. В Китае ежегодно образуется 600 млн. т соломы, из которых около 6,4 млн. т (1%) используются в качестве топлива на электростанциях [66, 67].

В Украине по оценкам БАУ, выполненным для 2012 года, для производства энергии и твердых биотоплив использовалось 0,6% собранного объема 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) [33, 34]. 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.). Аналогичные исследования для Греции и Швеции показали, что для энергетики можно брать 15% и 60% образованной соломы, соответственно, тогда как другая часть должны остаться на поле для поддержания плодородия почвы [46, 49].

В Польше ежегодно образуется 23 млн. т соломы зерновых культур, из которых по данным работы [69] на энергетические нужды можно использовать 4,5 млн. т (20%). Остальная часть идет на собственные нужды сельского хозяйства. Эстонские специалисты считают, что 10% общего объема соломы должно использоваться на подстилку скоту, 25-75% – для поддержания плодородия почвы, и на производство энергии остается, соответственно, 15-65% [70].

Одним из выводов авторов исследования по Германии [33, 34] является то, что солома как топливо в стране является «недоиспользованной». Учитывая это, интересным является прогноз нидерландского специалиста Мартина Джунджинрега, профессора института Коперника по устойчивому развитию Университета Утрехта, о том, что скоро ряд европейских стран откажется от использования древесного биотоплива в пользу аграрного. Это связано с тем, что многие эксперты с мировым именем не считают древесину быстро возобновляемым энергоресурсом в отличие от соломы и других видов биомассы аграрного происхождения [61].

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 остальная биомасса должна оставаться на полях [40-42, 47, 50, 52]. 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-Till²⁰, доля пожнивных остатков кукурузы, доступная для нужд энергетики, может вырасти до 60-80% [43-45, 48, 51, 53, 54].

²⁰ Система нулевой обработки почвы, также известная как No-Till, - современная система земледелия, при которой почва не обрабатывается, а её поверхность укрывается специально измельченными остатками растений - мульчей. Поскольку верхний слой почвы не рыхлится, такая система

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 специалистов²¹, в Украине есть избыток соломы, который можно вовлечь в топливно-энергетический баланс. Практический опыт развития событий 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. Так, например, почти на все запросы о возможности поставки соломы для энергетических потребностей, сделанные БАУ в агрохолдинги Киевской и соседних областей в 2013 году, был получен ответ, что вся солома используется хозяйствами на собственные нужды. А почти во всех ответах агропредприятий на аналогичные запросы относительно стеблей и кочанов кукурузы говорилось, что при уборке кукурузы листостебельная масса измельчается и разбрасывается по полю.

Существует ряд научных исследований, выполненных украинскими специалистами, о возможности и целесообразности использования соломы и других сельскохозяйственных отходов для производства энергии. Рассмотрим некоторые из них.

В работе [7] 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 индивидуально для каждого предприятия, какую именно 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 [12] 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 объем соломы и других растительных отходов, который доступен для энергетического использования, зависит от особенностей и условий хозяйственной деятельности конкретного агропредприятия. Согласно методике оценки, разработанной в [7, 12], он может колебаться от 30% до 100 % общего объема отходов [56]. Дальнейшее развитие этого подхода можно найти в исследовании [11]. В нем разработан детальный алгоритм принятия решения о возможности применения определенным предприятием растительных остатков для производства энергии или биотоплива.

земледелия предотвращает водную и ветровую эрозию почвы, а также значительно лучше сохраняет воду.

²¹ **Пример:** М. Безуглый, вице-президент УААН, академик УААН, В. Булгаков, академик-секретарь Отделения механизации и электрификации УААН, член-корреспондент УААН «По предварительным подсчетам, в Украине на энергетические цели есть возможность ежегодно использовать до 10 млн. т соломы зерновых и около 7 млн. т соломы рапса»

В работе [56] 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 условия положительного баланса гумуса. Предельный объем соломы, который можно использовать на тепловые потребности, при нулевом балансе гумуса составляет около 40%. Согласно разработанной модели, автор [56] выполнил расчет потенциала соломы, доступного для энергетических потребностей в Житомирской области по данным 2005-2011 гг. Для области в целом доля доступной соломы составляет около 30%, тогда как для отдельных районов она колеблется от 0 до 49%.

Вопросу использования соломы и других растительных остатков для нужд сельского хозяйства и на энергетические цели посвящена работа [30]. В частности, в ней указано, что производство энергии из соломы активно развивается в Дании, Швеции и большинстве стран Центральной Европы. На энергетические цели там ежегодно используется от 5% до 20% производимой соломы. 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 животноводстве солому целесообразно использовать, прежде всего, в качестве подстилки (суточная потребность, например, для коров – 2-8 кг в сутки на 1 голову в зависимости от типа содержания и продуктивности животных). Как корм солома является малоценной для высокопродуктивных животных и должна использоваться только как добавка. В исследовании [30] также отмечено, что в вопросе выбора наиболее рационального направления утилизации соломы и других растительных остатков необходим индивидуальный подход для каждого хозяйства, исходя из принципа экономической и хозяйственной целесообразности.

При рассмотрении данных вопросов важно помнить, что кроме соломы, которая целенаправленно вносится в почву в качестве органического удобрения, в почву также попадает стерня²², оставшаяся в поле после уборки урожая, и, в конечном счете, солома, которая была использована на подстилку и корм скоту.

Относительно отходов производства кукурузы на зерно и подсолнечника, в рассматриваемых исследованиях найдено только общие (качественные) рекомендации. Так, автор [12] считает, что ботву²³ кукурузы на зерно и подсолнечника надо оставлять в измельченном виде на полях, а сжигать ее в котлах в нынешних условиях нецелесообразно. В исследовании [26] сделан вывод, что часть урожая зерна и листостебельной массы кукурузы можно использовать на энергетические нужды.

²² Стерня входит в теоретический потенциал соломы (т.е. общий объем образования). Технический потенциал (то, что можно фактически собрать) рассчитывается путем вычитания из теоретического объема стерни и потерь при уборке соломы (например, при тюковании). Фактически, все потери соломы при уборке остаются в поле и попадают в почву.

²³ Ботва – стебли и листья растений.

Результаты рассмотрения практического опыта стран Европы и исследований, проведенных украинскими и зарубежными специалистами, сведены в **Таблице 5**.

Таблица 5. Оценка доли растительных отходов сельского хозяйства, доступных для производства энергии

| Страна / регион | Вид отходов* | Доля общего объема (теоретического потенциала), доступная для энергетических потребностей |
|--------------------------------------|------------------------------------|---|
| Германия [33, 34] | солома | 30% |
| Греция [46] | солома | 15% |
| | К, П | 60% |
| Швеция [49] | солома, К | 60% |
| Польша [69] | солома | 20% |
| Эстония [70] | солома | 15-65% |
| ЕС-15 + Норвегия и Швейцария [41] | солома | 50% |
| | К | 25% |
| ЕС-27 [40] | солома, К, П, Д | 30% |
| ЕС-27 [42] | солома | 45% |
| | К, П | 40-50% |
| ЕС [47] | солома, К | 25% |
| ЕС [50] | солома, К, П | 30% |
| ЕС [52] | солома | 50% |
| США [51] | солома | 40% |
| США [54] | солома, К | 30-40% |
| США [43] | К | 30-60% |
| | | 76-82% (при технологии No-Till) |
| США [44] | солома | 40-50% |
| | К | 40% |
| | 35-70% (при технологии No-Till) | |
| США [45] | солома | 60% |
| | К | 60-70% (при технологии No-Till) |
| США [48] | К | 30-70% (при технологии No-Till) |
| США [53] | К | 30-40% |
| Украина [7] | солома | 38% (предприятия картофеле-зерно-животноводческого направления) |
| Украина [56] | солома | 40% |
| Украина [12] | солома | 86% (предприятия сахарно-зерно-животноводческого направления) |
| Украина [30] | солома | 20% ** |
| Украина [92] | солома | ≥ 50% (после 2008 г.) |
| | К, С | 100% |

* К – отходы производства кукурузы на зерно, П – отходы производства подсолнечника, Д – другие растительные отходы. ** Пересчет авторов Аналитической записки из данных, приведенных в работе [30].

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

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:

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 производства энергии, выполним расчет потенциала соответствующих видов биомассы по данным производства соответствующих сельскохозяйственных культур в 2013 году. Результаты расчета представлены в **Таблице 6**.

Таблица 6. Энергетический потенциал растительных отходов сельского хозяйства (2013 год)

| Вид биомассы | Урожай с/х культур, млн. т | Общий объём отходов (теоретический потенциал), млн. т | Доля отходов на энергетические нужды | Энергетический потенциал | | | |
|---|---|---|--------------------------------------|--------------------------|------|------------------|-------------|
| | | | | млн. т | W, % | Q_n^p , МДж/кг | млн. т у.т. |
| Солома зерновых культур | <i>зерновые (без кукурузы):</i> 32,1 | 30,6 | 30% | 9,2 | 20 | 14,5 | 4,5 |
| Отходы производства кукурузы на зерно: всего, в т.ч.* - стебли (с листьям) - стержни | <i>кукуруза:</i> 30,9 | 40,2 | 40% | 16,1 | 50 | 8 | 4,4 |
| | | 30,3 | | 12,1 | | | 3,3 |
| | | 5,6 | | 2,2 | | | 0,6 |
| Отходы производства подсолнечника: всего, в т.ч. - стебли (с листьям) - корзинки | <i>подсолнечник:</i> 11,0 | 20,9 | 40% | 8,3 | 60 | 6 | 1,7 |
| | | 14,3 | | 5,7 | | | 1,2 |
| | | 6,6 | | 2,6 | | | 0,5 |
| Всего | 74,0 | 91,8 | | 33,6 | | | 10,6 |

* Оставшаяся часть отходов – обертка початка с ножкой.

В расчете использованы такие *коэффициенты отходов*²⁴ [88]:

пшеница – 1,0

ячмень – 0,8

другие зерновые – 1,0

кукуруза на зерно – 1,3

подсолнечник – 1,9.

Следует отметить, что у специалистов существуют разные взгляды на значение коэффициентов отходов, и в разных работах можно найти целый спектр этих значений. В ряде научных трудов, например, [89-91], соотношение зерновой части урожая и соломы определяют с помощью уравнений регрессии в зависимости от урожайности культур, что дает возможность получить наиболее точные результаты.

Из данных **Таблицы 6** 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 тоннах – 33,6 млн. т.

Если сравнить эти результаты с предыдущими оценками БАУ потенциала всех видов биомассы, доступных для производства энергии в Украине (30-35 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.

Выводы

На сегодня в мире уже накоплен достаточно большой опыт использования растительных отходов сельского хозяйства для производства энергии. Примерами стран, где успешно функционируют коммерческие энергоустановки на соломе, является Дания, Китай, Испания, Великобритания.

Растительные отходы как топливо имеют ряд отрицательных свойств, что требует довольно тщательного подхода к их применению. Так, солома может содержать хлор и щелочные металлы, что приводит к коррозии стальных элементов энергетического оборудования, особенно при высоких температурах. Кроме того, солома имеет относительно низкую температуру плавления золы, следствием чего может быть шлакование элементов энергетического оборудования. Но на сегодня уже найдены конструктивные и другие технологические решения, которые минимизируют эти негативные воздействия и позволяют успешно использовать солому в качестве топлива.

Что касается стеблей кукурузы, то мировой опыт их энергетического применения значительно меньше. Известно, что они имеют относительно высокую зольность (примерно в 2 раза больше, чем в соломе), но при этом – достаточно высокую температуру плавления золы, что является положительным фактором для топлива. Примеров производства энергии

²⁴ Согласно данным Отделения растениеводства Национальной академии аграрных наук Украины, полученных письмом № 5-2/256 от 16.11.2012.

из стеблей подсолнечника на сегодня не найдено. Есть данные, что их элементарный состав близок к составу соломы и стеблей кукурузы, но содержание золы выше – 10-12% массы сухого вещества. Кроме того, содержание щелочного металла калия существенно выше – до 5% массы с.в.

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 вся необходимая техника, надо только перейти с поточной 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 соломосжигающих котлов в Украине и наличии стабильного спроса на солому, аграрным предприятиям будет экономически выгодно использовать валочную технологию сбора соломы, выполнять ее тюкование и продавать соответствующим потребителям.

Что касается кукурузы, то те технологии сбора ее урожая, которые распространены сейчас в Украине, 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 поддаются силосованию и используют для производства биогаза. Альтернативный подход заключается в переходе к технологии уборки кукурузы, распространенной в США, по 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, но соответствующие пресс-подборщики выпускаются и используются в США.

Аналогичные подходы можно рекомендовать и для пожнивных остатков подсолнечника: сбор измельченных отходов для силосования и производства биогаза или тюкование подсушенных в поле стеблей с последующим сжиганием в котлах или использованием в качестве сырья для производства гранул/брикетов.

Безусловно, 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 рекомендуются следующие доли теоретического потенциала (т.е. общего объема образования) растительных отходов для использования в энергетических целях: для соломы зерновых культур – **до 30%**, для отходов производства кукурузы на зерно и подсолнечника – **до 40%**. 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. Сільське господарство України. Статистичний збірник 2012. Державна служба статистики України [на укр. яз] <http://www.ukrstat.gov.ua/>
2. Климчук О.В. Ефективність комплексного використання кукурудзи в біоенергетиці // Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. Випуск 19, 2013, с. 150-154 [на укр. яз] <http://www.bioenergy.gov.ua/sites/default/files/articles/150.pdf>
3. Інтенсифікація технологій вирощування кукурудзи на зерно – гарантія стабілізації урожайності на рівні 90-100 ц/га (практичні рекомендації). Державна установа Інститут сільського господарства степової зони, Дніпропетровськ, 2012 [на укр. яз] agroua.net/docs/mais.doc
4. А. Сушина. Сушіння кукурудзи в качанах. Пропозиція, 2014, № 1 [на укр. яз] <http://www.propozitsiya.com/?page=146&itemid=4039>
5. М. Кирпа. Оптимізовані технології збирання й обробки зерна кукурудзи. Пропозиція, 2014, № 1 [на укр. яз] <http://www.propozitsiya.com/?page=146&itemid=3720>
6. Сучасні технології заготівлі кормів [на укр. яз] <http://buklib.net/books/34616/>
7. С.М. Кухарець, Г.А. Голуб. Забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем на основі виробництва біопалива // Вісник Житомирського національного агроєкологічного університету, 2012, №1 (30), т.1, с.345-352 [на укр. яз] http://www.znau.edu.ua/visnik/2012_1_1/345.pdf
8. Луц С.М. Зоотехнологічні аспекти внесення підстилки на фермах великої рогатої худоби [на укр. яз] http://sciencelit.net/view/Article/81/Analysis_and_classification_straw_spreader_bedding_for_cattle.html
9. Підвищення родючості глинистого ґрунту, застосування добрив у польовій сівозміні [на укр. яз] <http://bukvar.su/botanika-i-selskoe-hoz-vo/page,4,32014-Povyshenie-plodorodiya-glinistoy-pochvy-primenenie-udobreniiy-v-polevom-sevooborote.html>
10. Органічні добрива на основі відходів тваринництва та птахівництва [на укр. яз] <http://www.bestreferat.ru/referat-183734.html>
11. Кухарець С.М. Алгоритм розподілу органічних ресурсів у агроєкосистемах. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки, 2012, №10 т. 1 (58), с. 61-65 [на укр. яз] <http://repository.vsau.org/card.php?lang=&id=6606>
12. 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 [на укр. яз] <http://repository.vsau.org/card.php?lang=&id=3543>
13. Straw to Energy. Status, Technologies and Innovation in Denmark 2011. INBIOM http://www.inbiom.dk/download/viden_biomasse/halmpjeceuk_2011.pdf
14. M. Wachendorf. Thermal use of agricultural biomass. BOVA course “Energy Crops and Biogas Production, 3-7 March 2008, Tartu, Estonia

- http://www.bioenergybaltic.ee/bw_client_files/bioenergybaltic/public/img/File/BOVA/Wachendorf_thermal_use_of_agricultural_biomass.pdf
15. Експрес-випуск «Підсумки збору врожаю основних сільськогосподарських культур, плодів, ягід та винограду у 2013 році (попередні дані)». 17.01.2014 р., № 24/0/06.1вн-14. Державна служба статистики України [на укр. яз] <http://www.ukrstat.gov.ua/>
 16. Посібник. Машина для збирання зернових та технічних культур / За ред. В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника. – Дослідницьке: УкрНДПІВТ ім. Погорілого. – 2009, 296 с. [на укр. яз] http://vthntusg.at.ua/ld/0/18_zernovi_disk.pdf
 17. Інформаційно-аналітичний звіт «Український ринок твердого біопалива», 2013 (на рос. мові). Підготовлений компанією Innovative Business Centre, LLC. [на укр. яз]
 18. Рекомендації Інституту сільського господарства північного сходу НААНУ, 2010 рік [на укр. яз] <http://www.isgps.com.ua/%D1%80%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97-2010/>
 19. Екологічні проблеми землеробства. За ред. І.Д. Примака. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 456с. [на укр. яз] <http://sg.dt-kt.net/books/book-5/chapter-450/>
 20. Справочник по органическим удобрениям. Пожнивные остатки http://xn--80aaaadedzmbq9apqb6adtvlp.xn--p1ai/spravoch/pojnivnye_ostatki.html
 21. Солома – цінне органічне добриво [на укр. яз] http://vilne.org.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=6396:soloma-cinne-organichne-dobryvo&catid=14:dimsad&Itemid=19
 22. Випробування абсорбуючих властивостей Staldren [на укр. яз] <http://www.staldren.com.ua/RU/staldrenabsorbtest/>
 23. Іон Морару. Не тільки молоко, а і... або скільки користі від гною [на укр. яз] <http://www.agtech.com.ua/index.php/article/203-organic-fertilizers.html>
 24. Пришвидшення мінералізації соломи та поживних решток [на укр. яз] http://zeolit.com.ua/attach/ceovit_259.pdf
 25. Агрогумат почва плюс [на укр. яз] <http://www.agrogumat.ua/agrogumat-plus>
 26. Климчук О.В., Скорук О.П. Перспективні напрямки вирощування кукурудзи для використання на енергетичні потреби // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Економічні науки, 2011, № 1 (48), с.67-73 [на укр. яз] <http://econjournal.vsau.org/files/pdfa/263.pdf>
 27. Кукурудза: використання стебел та стерні [на укр. яз] http://orgzem.zo.net.ua/?page_id=2232
 28. Кукурудза на зерно і силос [на укр. яз] <http://agroua.net/technics/agritechnology/index.php?aid=2>
 29. Корми для корів [на укр. яз] <http://agrobiznes.org.ua/node/21>
 30. 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 [на укр. яз] <http://repository.vsau.org/card.php?lang=&id=6387>

31. Загальні теоретичні питання кормо виробництва [на укр. яз] <http://buklib.net/books/34659/>
32. Biomass Energy Centre (UK). Straw.
http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?_pageid=75,17972&_dad=portal&_schema=PORTAL
33. The potential of straw for the energy mix has been underestimated. Study: Straw could supply energy to several millions of households in Germany <http://www.ufz.de/index.php?en=32109>
34. Integrated assessment of sustainable cereal straw potential and different straw-based energy applications in Germany // Applied Energy, v. 114, February 2014, p. 749-762.
35. Plenty of capacity with Hesston by Massey Ferguson large square balers (USA)
http://www.minnesotafarmguide.com/news/special_section/plenty-of-capacity-with-hesston-by-massey-ferguson-large-square/article_08c6b404-4657-11e3-b1b3-0019bb2963f4.html
36. Пресс-подборщики Massey Ferguson
<http://www.hesston.com/products/square-balers/2200-series-large-square-balers>
37. Пресс-подборщики Vermeer
http://www2.vermeer.com/vermeer/NA/en/N/equipment/balers/605_super_m_cornstalk_special
38. The Combine Forum (USA)
<http://www.thecombineforum.com/forums/63-haying/29016-best-round-baler-corn-stalks.html>
39. Energy and fertilizer from straw (Denmark)
<http://www.dtu.dk/english/News/2013/11/Energy-and-fertilizer-from-straw>
40. 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.
41. De Noord M., Beurskens L.W.M., De Vries H.J. Potentials and costs for renewable electricity production. A data Overview. ECN-C 03-006; 2004.
42. 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, N 19, 2013, p. 666-677
43. Glassner, D.A., Hettenhaus, J.R., Schechinger, T.M., 1998. Corn stover collection project. In: US Department of Energy Great Lakes Regional Biomass Energy Program (Ed.), Proceedings of BioEnergy'98: Expanding BioEnergy Partnerships. Madison, WI, October 4-8, 1998. Coalition of Great Lakes Governors, Chicago, IL, pp. 1100-1111.
44. Kadam, K.L., McMillan, J.D., 2003. Availability of corn stover as a sustainable feedstock for bioethanol production. Bioresource Technology 88, 17-25.
45. United States Department of Agriculture-Natural Resource Conservation Service (USDA-NRCS), 2006. White Paper Crop Residue Removal for Biomass Energy Production: Effects on Soils and Recommendations.
http://soils.usda.gov/sqi/management/files/AgForum_Residue_White_Paper.pdf (accessed July 2009).
46. Christou M., Eleftheriadis I., Panoutsou C., Papamichael I., 2007. Current Situation and Future Trends in Biomass Fuel Trade in Europe. Country Report of Greece. <http://eubionet2.ohoi.net/> (accessed July 2009).
47. Ericsson K., Nilsson L.J., 2006. Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource focused approach. Biomass and Bioenergy 30, 1-15.

48. Graham, R.L., Nelson, R., Sheehan, J., Perlack, R.D., Wright, L.L., 2007. Current and potential US corn stover supplies. *Agronomy Journal* 99, 1–11.
49. Katterer T., Andren O., Persson J., 2004. The impact of altered management on long-term agricultural soil carbon stocks – a Swedish case study. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 70, 179-187.
50. Nikolaou A., Remrova M., Jeliakov I., 2003. Lot 5: Bioenergy's Role in the EU Energy Market. *Biomass Availability in Europe*.
51. Patterson P.E., Makus L., Momont P., Robertson L., 1995. The Availability, Alternative Uses and Value of Straw in Idaho. Final Report of the Project BDK251, Idaho Wheat Commission, College of Agriculture, University of Idaho.
52. Panoutsou C., Labalette F., 2006. Cereals straw for bioenergy and competitive uses. In: European Commission (Ed.), *Proceedings of the Cereals Straw Resources for Bioenergy in the European Union*, Pamplona, Pamplona, 18–19 October 2006. Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.
53. Van der Sluis E., Shane R., Stearns L., 2007. Local Biomass Feedstocks Availability for Fuelling Ethanol Production. *Biofuels, Food and Feed Tradeoffs, Biofuels, Food and Feed Tradeoffs Conference*, April 12–13, 2007, St. Louis, Missouri.
54. Walsh M.E., Perlack R.L., Turhollow A., de la Torre Ugarte D., Becker D.A., Graham R.L., Slinisky S.E., Ray D.E., 2000. Biomass Feedstock Availability in the US: 1999 State Level Analysis. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
55. Новітні технології біоенергоконверсії: Монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуха, І.П. Григорюк та ін. – К: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 с. [на укр. яз]
56. С.М. Кухарець, Г.А. Голуб. Регулювання використання органічних ресурсів для виробництва біопалива // *Сільськогосподарські машини*, 2013, випуск 24, с. 187-194. [на укр. яз]
57. О. Поляков, А. Мінковський. Збирання врожаю – один із відповідальних етапів, який завершує процес вирощування культури // *Пропозиція*, 2014, №1 [на укр. яз]
<http://propozitsiya.com/?page=146&itemid=3406&number=113>
58. Чим збирає врожаї житниці Європи? // *Аграрний тиждень* [на укр. яз]
<http://a7d.com.ua/machines/12561-chim-zbiraye-vrozhayi-zhitnicya-yevropi.html>
59. Соняшник як об'єкт збирання [на укр. яз]
<http://zhmenka.com/sonyashnik-selekcija-nasinnictvo-texnologiya-viroshhuvannya/sonyashnik-yak-ob-yekt-zbirannya/>
60. Жатки для збирання пізніх / В. Погорілий, А. Мигальов // *Farmer*. – 2011. – № 9. – с. 70-72. [на укр. яз]
61. Солома против древесины
<http://www.biointernational.ru/analytics/2498.html>
62. New joint venture funds straw-fired power plant in the UK
<http://biomassmagazine.com/articles/9325/new-joint-venture-funds-straw-fired-power-plant-in-the-uk>
63. L. Nikolaisen, C. Nielsen, M.G. Larsen et al. Straw for Energy Production. *Technology – Environment – Economy*. The Centre for Biomass Technology, Denmark. 1998.
64. FYN Power Station http://www.vattenfall.dk/da/file/10445FynsvarketUK080121_7841590.pdf

65. Biomass plant from straw combustion in Sanguesa
http://www.accion-energy.com/media/219313/ACCIONA_Sanguesa%20biomass%20plant_EN.pdf
66. Advanced straw-fired power plant
<http://www.dpcleantech.com/biomass-projects/biomass-power-plant-project-case-studies/liaoyuan>
67. Capacity of China's Straw-fueled Power Plants Reaches 1.2 Mln kw
<http://english.cri.cn/3126/2007/06/12/1042@237651.htm>
68. A Spanish 16 MW straw power plant increases cereal farmer's income
<http://bioenergycrops.com/blog/2013/05/02/a-spanish-16mw-straw-power-plant-increases-cereal-farmers-income/>
69. Study on Biomass Trade in Poland. Project 4Biomass, WP 4.2.4.
http://www.central2013.eu/fileadmin/user_upload/Downloads/outputlib/4biomass_Poland_trade_study_uploaded.pdf
70. Proceedings of the Workshop: "Cereals straw and agricultural residues for bioenergy in European Union New Member States and Candidate Countries", 2 - 3 October 2007, Novi Sad, Serbia
<http://iet.jrc.ec.europa.eu/remea/proceedings-workshop-cereals-straw-and-agricultural-residues-bioenergy-european-union-new-member>
71. Управління поживними рештками в технологій min-till та no-till на прикладі підприємств Криму [на укр. яз] <http://www.zerno.org.ua/articles/technology?start=10>
72. R. V. Morey, D. L. Hatfield, R. Sears et al. Fuel properties of biomass feed streams at ethanol plants
http://www.biomasschpethanol.umn.edu/papers/Fuel%20Property%20Paper_Published_Online_Jan%2030_2009.pdf
73. R. Morissette, Ph. Savoie, J. Villeneuve. Corn Stover and Wheat Straw Combustion in a 176-kW Boiler Adapted for Round Bales // Energies, 2013, N 6, p. 5760-5774.
<http://www.mdpi.com/1996-1073/6/11/5760>
74. Ю. Пащенко, О. Кордін, С. Березовський. Продуктивність кукурудзи залежно від строків збирання // Пропозиція, №1, 2014 [на укр. яз] <http://propozitsiya.com/?page=146&itemid=3404>
75. Є. Скрильник. Ефективність використання післяживних решток [на укр. яз]
<http://www.propozitsiya.com/?page=146&itemid=4271>
76. Patrick C. Hoffman, R.D. Shaver and D.A. Undersander. Utilizing Corn Stalk Residues for Dairy Cattle
<http://www.uwex.edu/ces/dairynutrition/documents/UtilizingCornStalkResiduesforDairyCowsandHeifersv3.0.pdf>
77. Baled Corn Stover - A Potential Winter Feed For Tennessee Cow-Calf Operations
<http://animalscience.ag.utk.edu/beef/pdf/Drought/ASB369-BaledCornStalks.pdf>
78. Hoskinson R.L., Karlen D.L., Birrell S.J. et al. Engineering, nutrient removal, and feedstock conversion evaluations of four corn stover harvest scenarios // Biomass and Bioenergy 31 (2-3), p. 126-136.
79. Крамар В.Г., Жовмир Н.М., Зубенко В.И., Чаплыгин С.М. Топливные свойства поживных остатков кукурузы // Промышленная теплотехника, 2009, т.31, №5, с. 76-80.
80. База данных, созданная в ходе выполнения Задания 32 Международного Энергетического Агентства <http://www.ieabcc.nl/>
81. Yuliya Voytenko. Bioenergy in Ukraine. Sustainable pathways for agro-bioenergy development. LAMBERT Academic Publishing, 2012.

82. M. Rogulska, A. Grzybek, J. Janota Bzowski. Biofuels in Poland – Barriers and Benefits. Proc. of 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, 5-9 June 2000, p. 1393-1396.
<http://www.novator.se/bioint/sevilla.pdf>
83. M. Rogulska, A. Oniszk-Poplawska, M. Pisarek and G. Wisniewski. State of the art of bioenergy in Poland – barriers and opportunities. In book: Biomass and agriculture. Sustainability, markets and policies. 2004.
84. T. Golec, A. Grzybek. Experience with biomass district heating in Poland. Presentation at Central European Biomass Conference, 26-29 January 2005, Graz, Austria.
http://www.oekosozial.at/uploads/pics/Golec_ppt.pdf
85. DP CleanTech signs contract with Polish Energy Partners for 30 MW straw-fired plant
<http://www.dpcleantech.com/medias/news/dp-cleantech-signs-contract-with-polish-energy-partners-for-30-mw-straw-fired-plant>
86. Pavel Kalač. The required characteristics of ensiled crops used as a feedstock for biogas production: a review. Journal of Agrobiology, 28(2): 85–96, 2011.
<http://kch.zf.jcu.cz/vyzkum/publikace/separaty/JA%20review%20silage%20for%20biogas%20production%202011.pdf>
87. Методичні вказівки з охорони родючості ґрунтів / Греков В.О., Дацько Л.В., Жилкін В.А., Майстренко М.І. та ін. – К., 2011. – 108 с. [на укр. яз]
88. Методика узагальненої оцінки технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси. Узгоджена Головою Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України, 2013 [на укр. яз] http://www.journal.esco.co.ua/industry/2013_11/art225.pdf
89. Тараріко Ю.А. Формирование устойчивых агроэкосистем. Киев, 2007, 558 с.
90. Тараріко Ю.О. Енергозберігаючі агроекосистеми. Київ, ДІА, 2011, 575 с. [на укр. яз]
91. Ключ С.В. Визначення енергетичного потенціалу соломи і рослинних відходів за період незалежності України // Відновлювана енергетика, 2012, №3, с. 1-9. [на укр. яз]
92. Ключ С.В. Визначення частки соломи та рослинних відходів для енергетичного використання // Відновлювана енергетика, 2013, №4, с. 82-85. [на укр. яз]

Условные обозначения

- НЧУ – незерновая часть урожая;
ТЭЦ – теплоэлектроцентраль;
ТЭС – тепловая электростанция;
ТБО – твердые бытовые отходы;
УААН – Украинская академия аграрных наук;
с/х – сельское хозяйство;
с.в. – сухое вещество.

Предыдущие публикации БАУ

<http://www.uabio.org/activity/uabio-analytics>

1. Аналитическая записка БАУ № 1 «Место биоэнергетики в проекте обновленной Энергетической стратегии Украины до 2030 года»
2. Аналитическая записка БАУ № 2 «Анализ Закона Украины «О внесении изменений в Закон Украины «Об электроэнергетике» №5485-VI от 20.11.2012»
3. Аналитическая записка БАУ № 3 «Барьеры для развития биоэнергетики в Украине»
4. Аналитическая записка БАУ № 4 «Перспективы производства и использования биогаза в Украине»
5. Аналитическая записка БАУ № 5 «Перспективы производства электроэнергии из биомассы в Украине»
- 6 Аналитическая записка БАУ № 6 «Перспективы производства тепловой энергии из биомассы в Украине»

Общественный союз «Биоэнергетическая ассоциация Украины» (БАУ) был основан с целью создания общей платформы для сотрудничества на рынке биоэнергетики Украины, обеспечения наиболее благоприятных условий ведения бизнеса, ускоренного и устойчивого развития биоэнергетики. Общее учредительное собрание БАУ было проведено 25 сентября 2012 в г. Киев. Ассоциация официально зарегистрирована 8 апреля 2013 года. Членами БАУ стали более 10 ведущих компаний и более 20 признанных экспертов, работающих в области биоэнергетики.

www.uabio.org

