

УДК 620.92

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ В УКРАИНЕ. ЧАСТЬ 1

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 питання можливості використання рослинних відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні. Проаналізовано світовий досвід з енергетичного використання соломи. Розглянуто технології збирання сільськогосподарських культур, що впливають на можливість збору рослинних відходів.

Рассмотрены вопросы возможности использования растительных отходов сельского хозяйства для производства энергии в Украине. Проанализирован мировой опыт по энергетическому использованию соломы. Рассмотрены технологии уборки сельскохозяйственных культур, влияющие на возможность сбора растительных отходов.

The paper covers the issue of possibility of using agricultural plant residues for energy production in Ukraine. World experience on energy production from straw is analyzed. The paper considers harvesting technologies that determine possibility of the plant residues collection.

Библ. 8, рис. 1.

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

ТБО – твердые бытовые отходы;  
ТЭС – тепловая электростанция;  
ТЭЦ – теплоэлектроцентраль;

КПД – коэффициент полезного действия.

**Нижние индексы:**  
э – электрический.

### Мировой опыт по использованию отходов сельского хозяйства для производства энергии

На сегодня в мире уже 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 образующихся ~ 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 тюков. 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 (мощностью 0,1...1,0 МВт) и около 55 котельных в системе централизованного теплоснабжения (0,5...12 МВт). Кроме того, 8 ТЭЦ (2...28 МВт<sub>э</sub>) 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<sub>э</sub> [1, 2]. 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.

В Великобритании работает одна из самых крупных в мире электростанций на соломе – 38 МВт<sub>э</sub> (Ely). Солома зерновых культур, объемом около 200 тыс. т/год, является основным топливом для ТЭС. До 10 % общего объема топлива составляют также другие виды биомассы и природный газ [3]. Планируется сооруже-

ние второй ТЭС на соломе мощностью 40 МВт<sub>э</sub>. Электростанция будет работать по датской технологии и должна быть запущена в эксплуатацию в начале 2016 года.

Две электростанции на соломе эксплуатируются в Испании. Первая, мощностью 25 МВт<sub>э</sub> (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<sub>э</sub> (Biviesca) 17 специализированных компаний поставляют 102 тыс. т соломы в год. Запуск в эксплуатацию этой электростанции привел к созданию 100 постоянных новых рабочих мест [3]. Известно, что компания Acciona Energía (Испания), внедрившая эти две ТЭС, имеет долгосрочные планы по строительству еще 7 электростанций в стране.

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 объемом порядка 8 млн. т/год. Сейчас в Польше работают более 100 котлов малой мощности на соломе (мощностью около 100 кВт) и более 40 небольших и средних котельных в системе централизованного теплоснабжения (0,5... 7 МВт) [4, 5]. Кроме того, датская компания DP CleanTech вместе с польской компанией Polish Energy Partners выполняет строительство соломосжигающей электростанции мощностью 30 МВт<sub>э</sub> (Winsko). Дополнительным топливом на ТЭС будет древесная щепа. Ввод электростанции в эксплуатацию запланирован на конец 2014 года. Следует также отметить, что до последнего времени в Польше гранулы из соломы активно использовались на угольных электростанциях для совместного сжигания. Так, например, только компания Polish Energy Partners поставляла для ТЭС 150 тыс. т гранул в год. Но, в 2013 году ситуация резко 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 строительство крупной ТЭЦ на биомассе (Örtofta). ТЭЦ будет включать котел 110 МВт на древесной щепе, котел 45 МВт на соломе и турбину мощностью 53 МВт<sub>э</sub>. Потребление соломы составит около 80 тыс. т/год. Становление коммерческого рынка соломы в Швеции специалисты связывают с вводом в эксплуатацию ТЭЦ Örtofta.

Технологии производства энергии из соломы активно развиваются также в Китае. Компания DP CleanTech в период 2006 – 2012 гг. внедрила в стране 34 электростанции общей мощностью 1200 МВт<sub>э</sub>. Типичным примером является ТЭС 30 МВт<sub>э</sub> (160 тыс. т соломы в год) в Liaoyuan, поставляющая 200 ГВт·ч/год электроэнергии в национальную сеть.

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 S.A.), Канаде (Semican), США (PowerStock); брикеты из соломы – в Эстонии (BaltPellet OÜ), Дании (C.F. 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 направления 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, которые 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 остальная биомасса остается незадействованной и часто утилизируется без принесения пользы (сжигается в поле, вывозится на свалку). Значительную часть неиспользуемой биомассы представляется целесообразным привлечь к производству энергии. При этом важным является вопрос, какую долю растительных отходов и остатков можно использовать на энергетические нужды без негативного влияния на плодородие почв.

*Солома зерновых культур*

Производство зерновых культур в Украине составляет порядка 40...50 млн. т в год с урожайностью 25...30 ц/га. По предварительным данным Государственной службы статистики Украины, в 2013 году был достигнут рекордный объем производства зерновых – 63 млн. т с рекордной урожайностью почти 40 ц/га (рис. 1). 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. Другими тенденциями являются рост площадей под подсолнечником (почти в 4 раза по сравнению с 1990 г.) и сокращение площадей под кормовыми культурами.

Важным является вопрос технологий, применяемых для уборки урожая сельскохозяйствен-

ных культур, поскольку от этого напрямую зависит возможность физического сбора растительных отходов для использования в энергетических целях. В Украине применяются следующие технологии заготовки соломы зерновых колосовых культур [7]:

- *Потоковая.* 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 в поле на стерню. Копны собираются с поля преимущественно тросовыми или толкательными волокушами. В случае формирования копен-блоков они вывозятся копновозами/стоговозами.

- *Валковая.* Солома укладывается в валки с помощью валкоукладчика комбайна. Существуют различные варианты подбора валков, один из которых – формирование плотных тюков пресс-подборщиками.

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

Ранее в Украине широко применялась копновая технология сбора соломы, а на сегодняшний день наиболее распространенной является потоковая технология. Валковая технология уборки соломы предусматривает возможность последу-

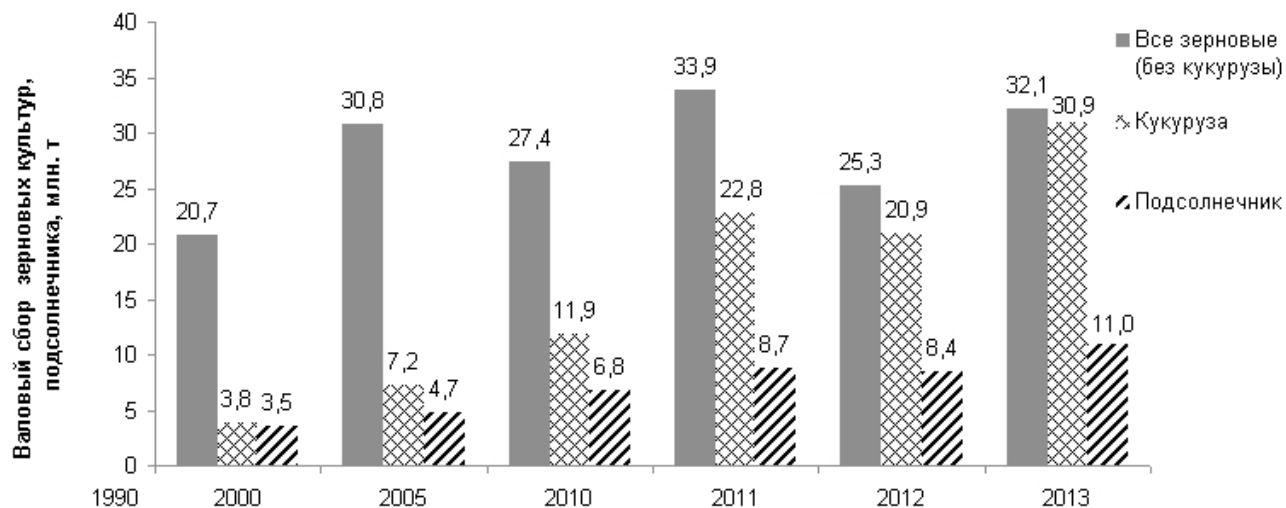


Рис. 1. Динамика производства зерновых культур и подсолнечника в Украине [6].

ющего тюкования. Это является важным 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.

Еще одним важным вопросом является существующие в Украине направления использования соломы, поскольку от этого существенно зависит объем, доступный для производства энергии и биотоплива. Собранный солома зерновых культур используется для различных целей: 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. Поддержание надлежащего баланса гумуса способствует биологической активизации почвы, а также ее противозерозионной защите. 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). Глубокая запашка 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) 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 рас-

тения испытывают недостаток азота, если в почву вместе с соломой не вносят азот минеральных удобрений.

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. Еще одним направлением использования соломы в животноводстве является ее применение в качестве грубого корма для скота.

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 [8]. Для сжигания в котлах применяют солому с влажностью до 20 %, при производстве гранул влажность соломы не должна превышать 12...14 %.

На сегодня в Украине есть определенный опыт применения соломы для производства энергии и биотоплива. В сельской местности эксплуатируются около 100 котлов/теплогенераторов на тюках соломы. Примерно 45 из них – котлы украинской компании «Южтеплоэнерго-монтаж», 10 единиц – котлы датских фирм Faust и Passat Energi, другие – теплогенераторы украинской компании «Бриг». Общая установленная мощность этого оборудования оценивается в 70 МВт, годовое потребление соломы – порядка 80 тыс. 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» планирует запустить вторую очередь и выйти на конечную проектную мощность – 150 тыс. т/год. Серьезные планы по наращиванию производства гранул из соломы есть у компании «Смарт Энерджи», которой принадлежит «Вин-Пеллета» и у агрохолдинга KSG Agro.

Для более широкого внедрения энергетиче-

ского 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 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 выращивании кукурузы наиболее эффективным является совместное внесение минеральных и органических удобрений. В качестве последних применяют пожнивные остатки самой кукурузы, солому, навоз. Стебли кукурузы, как и солома зерновых культур, относятся к грубым кормам для скота.

В зависимости от направления последующего использования, кукурузу собирают на зерно и на силос. На зерно кукурузу собирают такими способами: с очищением початков, в неочищенных початках, с обмолотом початков. В зависимости от используемой техники и технологии сбора, листостебельная масса после уборки зерновой части может быть получена в следующем виде: собранная, измельченная и загруженная в транспортные средства; измельченная и разбросанная по полю для последующего запашки; оставленные стебли и листья без початков в поле (эта технология широко распространена в США). В последнем случае возможно тюкование стеблей.

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 массы. Сбор измельченных пожнивных остатков не выполняется. Лишь немногие хозяйства собирают кукурузу в необмолоченных початках с последующим стационарным обмолотом, что дает возможность сбора обмолоченных кочанов.

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 средства или/и стационарный обмолот початков.

Другой вариант заключается в развитии технологий тюкования стеблей для варианта, когда собирают только зерновую часть урожая, а нескошенные стебли оставляют в поле. Примеры применения пресс-подборщиков высокого давления (Massey Ferguson, Vermeer) для тюкования стеблей кукурузы существуют в США. 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  $Q = 5...8$  МДж/кг). При высушивании стеблей на воздухе можно достичь влажности 15...18 % ( $Q = 15...17$  МДж/кг) [8]. Сбор урожая кукурузы без обмолота початков начинают при влажности зерна не более 40 %, а с обмолотом – при 30 %. Кочаны кукурузы всегда более влажные, чем зерно (35...45 %), но при сушке интенсивнее испаряют влагу.

На сегодня в Украине есть только единичные примеры энергетического применения пожнивных остатков кукурузы. Так, предприятие Черкасытеплокоммунэнерго использует в качестве топлива обмолоченные кочаны кукурузы, которые им поставляет семенной завод «Черлис» (Черкасы). Кроме того, для второй очереди ТЭС мощностью 12 МВт, в пгт. Иванков Киевской области как альтернатива древесной щепе рассматривается также вариант использования стеблей кукурузы. Аграрные предприятия Иванковского района декларируют доступность 90 тыс. т/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 этих комплексов требует применения специальных мер, таких как термическая или термофизическая обработка, механическое тонкодисперсное измельчение, химическая обработка, внесение специальных энзимных препаратов и т.д. Часто такие методы являются слишком затратными по сравнению с полученным эффектом, что ограничивает их применение на практике. Поэтому для производства биогаза традиционно используют растительную биомассу, которая не требует дополнительной предварительной обработки, кроме силосования. Кроме того, исследования показывают низкую эффективность монображивания растительного сырья после созревания растения 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. 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.

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. При уборке культуры в оптимальной фазе спелости влажность корзинок составляет 70...75 %,

стеблей – 60...70 %.

Другой вариант уборки подсолнечника состоит в обмолоте корзинок и их сборе в копни-тель в целом виде с последующей выгрузкой на поле небольшими копнами. Стебли, оставшиеся после уборки, подрезают и измельчают дисковыми лушпильниками. После этого их сгребают в валки, из которых формируют копны. 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 подсушенных 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.

#### **Выводы**

Украина имеет большой потенциал биомассы сельскохозяйственного происхождения, доступной для производства энергии. Однако существующие технологии уборки основных сельскохозяйственных культур зачастую не дают возможность физически собрать пожнивную остатку. Особенно это касается отходов производства кукурузы на зерно и подсолнечника. Для более широкого вовлечения растительных отходов в энергетический сектор необходимо переходить на технологии уборки урожая, предусматривающие сбор пожнивных остатков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Skøtt T. Straw to Energy. Status, technologies and innovation in Denmark 2011. – Tjele: Agro Business Park A/S, 2011. – 40 p.
2. Nikolaisen L., Nielsen C., Larsen M.G. et al. Straw for Energy Production. Technology – Environment – Economy. – Trojborg: Trojborg Bogtryk, 1998. – 53 p.
3. 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.

4. *Rogulska M., Grzybek A., Janota Bzowski J.* Biofuels in Poland – barriers and benefits. Proc. of the 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Seville, Spain, 5-9 June 2000. – P. 1393 – 1396.

5. *Golec T., Grzybek A.* Experience with biomass district heating in Poland. Presentation at

the Central European Biomass Conference, 26-29 January 2005, Graz, Austria.

6. *Сільське господарство України.* Статистичний збірник за 2012 рік. – Київ: Державна служба статистики України, 2013. – 402 с.

7. *Машины для збирання зернових та технічних культур.* Посібник / За ред. В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Погорілого. – 2009. – 296 с.

8. *Новітні технології біоенергоконверсії.* Монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуха, І.П. Григорюк та ін. – К: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 с.

## PROSPECTS FOR THE USE OF AGRICULTURAL RESIDUES FOR ENERGY PRODUCTION IN UKRAINE. PART 1

**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 covers the issue of possibility of using agricultural plant residues for energy production in Ukraine. The considered kinds of waste are grain straw, grain corn residues, and sunflower residues. World experience on energy production from straw is analyzed. The paper considers harvesting technologies that determine possibility of the plant residues collection. This is important from the point of view of residues use for energy purposes. It is shown that Ukraine has a big potential of agricultural waste available for energy production but currently applied harvesting technologies practically do not give opportunity for collecting the plant residues. Changing the harvesting technologies is suggested. References 8, figure 1.

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

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

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

3. *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.

4. *Rogulska M., Grzybek A., Janota Bzowski J.* Biofuels in Poland – barriers and benefits. Proc. of the 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Seville, Spain, 5-9 June 2000, P. 1393 – 1396.

5. *Golec T., Grzybek A.* Experience with biomass district heating in Poland. Presentation at the Central European Biomass Conference, 26-29 January 2005, Graz, Austria.

6. *Agriculture of Ukraine.* Statistical yearbook for 2012. – Kyiv: State Statistics Service of Ukraine, 2013. – 402 p. (Ukr.)

7. *Machinery for harvesting grain and industrial crops.* Textbook / Edited by V.I. Kravchuk, Yu.F. Melnik. – Doslidnytske: UkrNDIPVT named after Pogorily. – 2009. – 296 p. (Ukr.)

8. *Modern technologies for bioenergy conversion.* Monograph / Ya.B. Blium, G.G. Geletukha, I.P. Grygoriuk et al. – Kyiv: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 p. (Ukr.)

Получено 28.04.2014

Received 28.04.2014