

# СТАНДАРТИЗАЦІЯ, МЕТРОЛОГІЯ І СЕРТИФІКАЦІЯ

УДК 620.92.

А. А. Голубенко  
А. А. Самылин  
Н. М. Цивенкова

## СТАНДАРТИЗАЦІЯ – ОСНОВА СТАНОВЛЕННЯ БІОМАССИ ЯК ТОПЛИВА

Житомирський національний агроекологічний університет, [nika114@yandex.ru](mailto:nika114@yandex.ru)

*Приведена техніко-економічна характеристика умов і методів, які забезпечують найвищу економіко-екологічну ефективність використання різних видів місцевого палива на основі біомаси. Визначено рентабельність газифікації цих палив в енергетичних цілях, що дозволяє створити передумови для їх комплексної стандартизації.*

### Постановка проблеми

Сьогодні в Україні в області відновлюваної енергетики: прийнято три Закони; затверджено 42 Государственных стандарта, дієвуть семь Государственных програм. Однак, незважаючи на це, широкого практичного застосування альтернативна енергетика не отримала, складаючи в загальному енергетичному балансі 0,5 % від всіх джерел енергії. І це при тому, що сьогодні біомаса є 4-тим за значенням паливом в світі, покrywаючи 1250 млн. тонн умовного палива (т.у.т.) і складаючи близько 15 % первинних енергоносіть в світі. Відповідно до прогнозу світового енергетичного ради [1] частка біомаси до 2020 р. складе від 350 до 800 млн. т.у.т., або 42 – 46 % від загальної частки викопних палив. Це свідчить про формування потужного світового ринку паливної біомаси (ТБ).

Устойчиве енергозабезпечення сільськогосподарського виробництва вже в теперішній час неможливо без використання відновлюваних джерел енергії і альтернативних енергоносіть. В силу ряду причин традиційні види енергозабезпечення стають все більш дорогими і ненадійними, тому в різних концепціях розвитку енергетики частіше згадуються системи децентралізованого енергозабезпечення. Всесвітнє розвиток видобування і використання місцевих відновлюваних палив на основі біомаси – основа стійкого розвитку енергетики і запорука процвітання держави. Виявлення будь-яких додаткових джерел місцевих твердих палив на основі біомаси, складання їх балансу і розробка методів їх енергетичного і силового використання набувають сьогодні особливо важливе значення для розвитку сільського господарства України, яке щорічно споживає 1,9 млн. тонн дизельного палива і 650 тис. тонн бензину [4].

### Цель статьи

Наибольшую эффективность использования биомассы как топлива можно достигнуть только при условии стандартизации ее топливных характеристик. Сегодня многочисленные марки ТБ крайне затрудняют ее широкое потребление, складирование и транспортировку, а также возможность ее взаимозаменяемости. Это отрицательно сказывается на экономических интересах, как Украины, так и стран покупающих такие топлива. Кроме того, торговлю усложняет отсутствие единой терминологии. Аналогична ситуація і з показателями якості, адже оцінити і гарантувати якість біопалива можна тільки в тому випадку, якщо його якісні характеристики чітко визначені і належним чином узаконені. Тому основною метою дослідження стало обобщення вітчизняного досвіду в області класифікації палив для газогенераторних установок транспортного типу і представити весь комплекс питань цієї теми, являючоїся основою для стандартизації і сертифікації палив на основі біомаси.

### Анализ основных исследований и публикаций

Поскольку вопросы стандартизации биомассы как топлива не рассматривались ранее, изучение существующих исследований и публикаций не дало результатов. Однако в некоторых источниках приводится оценка потенциала использования биомассы как топлива. Данные

оценок различных авторов [2;3] относительно количества биомассы, доступной для получения энергии в Украине, колеблются в пределах 100 – 400 млн. т.у.т./год, что создает хорошие предпосылки занять лидирующие позиции Украиной на мировом рынке ТБ. Кроме того, придание биомассе статуса стандартизованного энергоносителя создаст экономические предпосылки для разбивки в обезлесенных районах Украины энергетических плантаций. Развитие энергетических плантаций позволит в стратегическом плане решить проблемы устойчивого лесопользования и обеспечения отечественной промышленности стандартизированным биотопливом на длительную перспективу.

**Материалы и методика исследований**

Материалами исследования послужили монографии отечественных и зарубежных исследователей, а также результаты собственных исследований. В процессе исследования использовались расчетно-конструктивный, системно-аналитический и статистико-экономический методы.

**Результаты исследований**

Растительные отходы исключительно разнообразны как по характеру своего естественного строения, так и по структуре технологического отхода, получаемого в результате переработки или обработки первичного сырья. Различны и физико-химические свойства этих отходов как топлива, вытекающие из их ботанических особенностей, условий произрастания, климата и почвы. Они имеют ряд свойств, которые отличают их друг от друга, а также от традиционных видов топлива. В то же время наиболее важные характеристики отходов с точки зрения использования их как энергоносителей – теплота сгорания единицы массы, химический (элементный) состав – достаточно близки (рис. 1) [5].

Имея в виду особое значение, которое оказывают форма и размер зерна (куска) топлива на процесс его газификации, этот признак проложен в основу классификации растительных отходов. Такая классификация дает возможность не только представить в виде стройной системы все разнообразие растительных отходов Украины, но и полезна для изучения газификационных характеристик растительных отходов и выбора технологии их подготовки для газификации.

В основу предлагаемой семи классной классификации растительных отходов положен их основной биологический признак, определяющий естественную форму растения или той его отдельной части, которая получается в результате уборки и первичной обработки. Классификация твердых био-топлив начинается с определения их происхождения, по которому они делятся на следующие группы: био-топлива на основе отходов древесины, био-топлива на основе травянистых растительных остатков и на основе вторичной биомассы.

Исходя из этих соображений, характеристика классов растительных отходов определена следующими физическими признаками: стебель, зерно двух классов крупности и, наконец, пластинка (лист), а характеристика классов древесных отходов определена твердостью породы древесины.

Каждый класс классификации имеет подклассы, объединяющие отходы с более

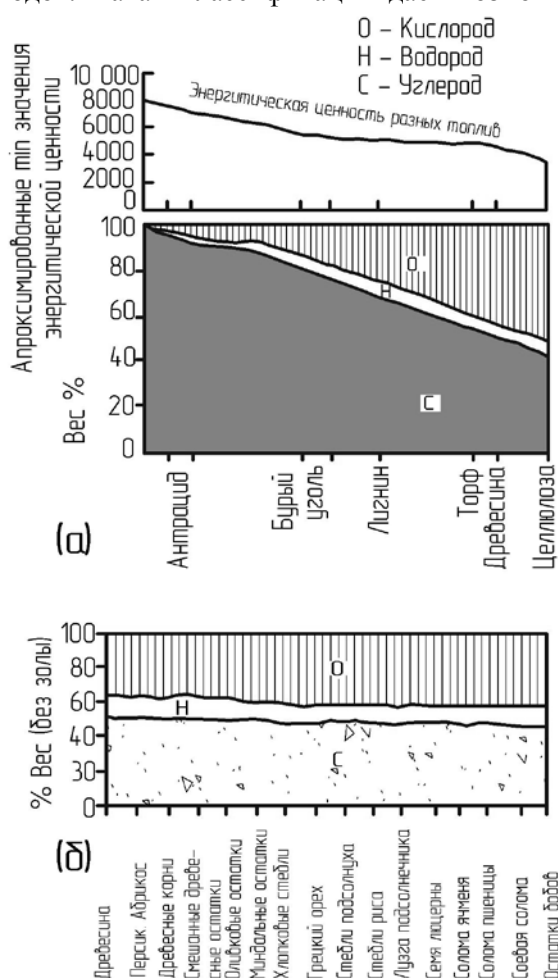


Рис. 1. Конечный анализ твердых топлив (а), и ТБ (б)

індивідуальними особливостями їх строєння, и, наконец, подкласс распадается на отдельные группы растительных отходов с однородными физическими характеристиками.

Дополнительная возможность классификации растительного топлива – по степени его улучшения. Неулучшенным считается топливо, при производстве которого сырье измельчается или пакетируется без изменения механических свойств. К такому виду топлива относят традиционные дрова, чурки, щепу, прессованные древесные отходы, отходы деревообработки (опилки, стружка). Типичные представители улучшенного топлива – древесные брикеты и пеллеты (древесные гранулы).

Кроме того, топливную биомассу древесного типа можно разделить по происхождению сырья на топлива, полученные из леса, из энергетических лесопосадок и топлива повторного использования. Первые два типа древесного топлива относятся к экологически безопасным, третий таковым не является. Обычно сырье третьего типа имеет пропитку, покраску и различные включения (металл, стекло, пластик и пр.), в связи с чем, его переработка усложнена. Таким образом, использование древесного топлива третьего типа можно скорее назвать утилизацией отходов. Приведенная классификация достаточно полно охватывает широкую номенклатуру растительных отходов, представляющих основную массу энергетического ежегодно возобновляемого топлива в сельском хозяйстве и дает возможность дифференцированно подойти к расчету их годового баланса. Однако, здесь следует иметь в виду, что использование в качестве биотоплива древесины в настоящее время является наименее эффективным направлением ее применения, поэтому древесина должна использоваться в конструктивных целях; части, которые не могут быть использованы как конструкционный материал, станут сырьем для целлюлозно-бумажной промышленности; и лишь негодные для этого остатки и являются биотопливом.

Топливная биомасса представлена множеством физических форм, обуславливающих разнообразие технологий ее переработки в топливо [6]. Поэтому очень важны исследования, направленные на определение и классификацию технико-экономических показателей ТБ с целью дальнейшей ее стандартизации и выхода на мировой топливный рынок. Химический состав биомассы (выраженный в сухом, свободном от золы состоянии) есть более выровнен по составу, чем у других твердых топлив (рис. 1). Наиболее важными показателями топлива, определяющими возможность и целесообразность его газификации, являются механическая

| Индексы  | C                  | H | O | N | S | A | W |
|----------|--------------------|---|---|---|---|---|---|
| <i>o</i> | Органическая масса |   |   |   |   |   |   |
| <i>z</i> | Горючая масса      |   |   |   |   |   |   |
| <i>c</i> | Сухая масса        |   |   |   |   |   |   |
| <i>p</i> | Рабочее топливо    |   |   |   |   |   |   |

Рис. 2. Состав ТБ

прочность, зольность, состав органической массы и теплотворность.

Теплотворность топлива может быть определена на горючую массу или на рабочее топливо (рис. 2).

Теплотворность горючей массы определяет количество тепла, выделяемого горючими компонентами топлива. Но кроме них топливо содержит балласт – минеральные примеси (золу) и воду, снижающие теплотворность топлива

при его сжигании. Тепловой эффект, получаемый от сжигания или газификации 1 кг топлива, определяется составом горючей массы и количеством содержащегося в топливе балласта, т. е. составом рабочего топлива. Тепло парообразования в ГУТТ не используется; в известных пределах оно даже является вредным, так как требует дополнительной затраты тепла на испарение влаги из топлива и на конденсацию пара для удаления влаги из газа. Поэтому часто встречающаяся оценка качества газогенераторного топлива для двигателей внутреннего сгорания (ДВС) по высшей теплотворности на горючую массу ( $Q_g^*$ ) не дает реальной, практически ценной его характеристики, искажая представление о качестве газогенераторного топлива. Для оценки газогенераторных топлив должна применяться низшая теплотворность рабочего топлива ( $Q_n^p$ ). Разница этих величин для различных видов топлива видна из табл. 1. Чем меньше содержит топливо балласта, тем лучше его топливные качества и выше калорийность.

Коэффициент рабочей теплотворности топлива обратно пропорционален проценту содержания в топливе балласта – золы и влаги:

$$\eta_p^m = \frac{Q_n^p}{Q_g^z} \cdot 100\% \quad (1)$$

Этот коэффициент позволяет дать суммарную оценку качества топлива по его теплотворности и содержанию балласта. Уменьшение содержания балласта в топливе повышает его качество. Однако такое уменьшение не может быть беспредельным.

Таблица 1

Сравнительная характеристика различных твердых топлив по отношению нижней и верхней его теплотворности

| Топливо                                  | $Q_g^z$ ,<br>Дж/кг | Содержание балласта, % |       | $Q_n^p$ | $\frac{Q_n^p}{Q_g^z}$ |
|--|--------------------|------------------------|-------|---------|-----------------------|
|  |                    | $A^p$                  | $W^p$ |         |                       |
| Чурка древесная березовая                | 20097              | 0,80                   | 20,0  | 14277   | 0,710                 |
| Чурка древесная сосновая                 | 20448              | 1,10                   | 20,0  | 14235   | 0,696                 |
| Уголь древесный березовый кучной         | 32238              | 1,22                   | 7,0   | 28721   | 0,891                 |
| Уголь древесный березовый печной         | 26502              | 0,90                   | 7,0   | 23689   | 0,894                 |
| Торф верховой высокой степени разложения | 23865              | 4,00                   | 30,0  | 14193   | 0,595                 |
| Торф низинный средней степени разложения | 21060              | 10,90                  | 30,0  | 11304   | 0,537                 |
| Уголь бурый                              | 30229              | 11,50                  | 27,0  | 17492   | 0,579                 |
| Антрацит                                 | 34206              | 12,50                  | 5,0   | 28093   | 0,821                 |
| Полукок                                  | 33637              | 3,92                   | 8,0   | 28981   | 0,862                 |
| Торфобрикет                              | 22441              | 5,00                   | 15,0  | 17585   | 0,784                 |
| Торфокок                                 | 34353              | 6,0                    | 8,0   | 28897   | 0,841                 |
| Солома брикетированная                   | 21060              | 5,0                    | 12,0  | 16111   | 0,765                 |
| Пеллеты из мягких пород деревьев         | 18027              | 0,5                    | 10,0  | 15109   | 0,838                 |
| Пеллеты из твердых пород деревьев        | 20168              | 0,4                    | 8,0   | 16997   | 0,843                 |
| Мазут                                    | 43125              | 0                      | 3,0   | 40612   | 0,942                 |
| Керосин                                  | 46264              | 0                      | 0     | 43125   | 0,932                 |
| Бензин А-95                              | 47311              | 0                      | 0     | 43960   | 0,929                 |
| Углерод                                  | 33913              | 0                      | 0     | 33913   | 1                     |
| Сжиженный газ*                           | 100483             | 0                      | 0     | 92110   | 0,917                 |
| Природный газ*                           | 39775              | 0                      | 0     | 35588   | 0,895                 |
| Водород*                                 | 12762              | 0                      | 0     | 10800   | 0,846                 |

\*Теплота сгорания газообразного топлива приведена в Дж/л.

Для создания оптимальных условий хода процесса газификации топливо должно иметь определенное минимальное содержание влаги. Уменьшение количества влаги ниже установленного предела отрицательно сказывается на ходе процесса газификации и качестве генераторного газа. Поэтому практически важно определить оптимальные значения  $\eta_p^m$ , могущие служить обобщенным критерием для различных видов твердого топлива. Кроме того, в разных работах дают разное представление влажности биомассы. Так одни

Таблица 2

Разбивка рассматриваемых топлив по их теплотворным качествам

| Группа топлива | Значение $\eta_p^m$ | Качество топлива   |
|----------------|---------------------|--------------------|
| I              | Выше 90             | Отличное           |
| II             | От 85 до 90         | Высокое            |
| III            | От 80 до 85         | Хорошее            |
| IV             | От 65 до 80         | Удовлетворительное |
| V              | Ниже 65             | Пониженное         |

исследователи оценивают влажность по фактическому весу биомассы (формула 2), а другие по ее сухому весу (формула 3).

$$MCW = \frac{M - C}{M} \quad (2)$$

$$MCW = \frac{M - C}{C} \quad (3)$$

где  $M$  – фактический вес,  $C$  – сухой вес.

На основании практики газификации и теоретических обобщений в этой области известно, что оптимальное содержание влаги  $W^p$  и минимально возможное содержание золы  $A^p$  для различных топлив колеблется в пределах, указанных в табл. 2. Эти величины определяют оптимальный уровень  $\eta_p^m$  для различных видов топлива [7]. Сравнивая полученные значения  $\eta_p^m$

с характеристикой топлив с точки зрения возможности их газификации, легко установить полное соответствие между ними.

Таким образом, произведенные расчеты дают возможность произвести разбивку перечисленных выше топлив по их теплотворным качествам на четыре группы (табл. 2).

Однако оценка топлив по их теплотворности не может быть ограничена приведенными выше расчетами. Необходимо установить также расход топлива в килограммах и джоулях на 1 кВт мощности двигателя. На сегодняшний день результаты расчетов систематизированы по всем основным видам ТБ. Дальнейшие расчеты построены на средних значениях измерений, кроме случаев, особо оговоренных. Так как все эти расчеты носят сравнительный характер, такая методика, на наш взгляд, является наиболее правильной.

Анализ топлив по эквиваленту к бензину показывает, что топлива, отнесенные к первым трем группам, имеют наиболее низкие эквиваленты (1,42–1,77), т. е. по теплотворности они ближе к бензину; расход этих топлив для выполнения работы, эквивалентной работе на 1 кг бензина (по расходу тепла), всего в 1,42–1,77 раза больше чем бензина. Однако для оценки качеств топлив при их использовании в газогенераторных установках транспортного типа (ГУТТ) весьма важно знать количество тепла, выделяемого единицей объема топлива (например, 1 л. или 1 м<sup>3</sup>), так как количество топлива, которое может быть переработано в газогенераторе, определяется емкостью бункера. Для этого используем показатель удельной теплотворной способности. Расчет этого показателя является условным, поскольку часто этот показатель зависит от конструкции оборудования, к примеру, газогенераторной установки, однако его колебания будут находиться в допустимых пределах. Таким образом, теплотворность топлива, т. е. количество энергии, приходящихся на 1 л. топлива рассчитывается по формуле:

$$\frac{Q_k \cdot q}{1000} = Q_l,$$

где:  $Q_k$  – теплотворность 1 кг топлива в Дж;  $q$  – объемный (насыпной) вес 1 м<sup>3</sup> топлива;  $Q_l$  – теплотворность 1 л топлива в Дж.

Удельная теплоплотность топлива также выражена через коэффициент теплоплотности, показывающий отношение количества теплоты, содержащейся в 1 л топлива, к количеству теплоты в 1 кг его, т.е. дает оценку теплотворности топлива с учетом такого важного показателя, как насыпной вес. Сравнительная оценка топлив по этому коэффициенту позволяет оптимизировать выбор ТБ в зависимости от объема загрузочного бункера, поскольку дает сравнительную их оценку по важнейшему показателю – теплотворности, с учетом зольности, влажности и объемного веса.

Однако решающими показателями качества топлива, используемого для газогенераторных установок, являются качество генераторного газа; количество газа, получаемое из единицы объема топлива и его теплотворность, а также жаропродуктивность топлива. Эти показатели для разных классов топлив сильно отличаются в зависимости от их состава.

Балласт в топливе, резко снижает его теплоту сгорания, прежде всего вследствие соответствующего снижения содержания горючей массы. Поэтому у топлив с постоянным составом горючей массы и незначительной зольностью теплота сгорания однозначно определяется влажностью. Помимо углерода и водорода в состав горючей массы ТБ входит азот и кислород. Каждый процент азота, содержащийся в горючей массе топлива, снижает теплоту ее сгорания на 1%. Содержание азота в горючей массе ТБ ничтожно (менее 1%), вследствие чего он несущественно влияет на теплоту сгорания ТБ.

Каждый процент химически связанного кислорода, содержащегося в горючей массе, кроме соответствующего снижения содержания горючей массы дополнительно снижает теплоту ее сгорания на 110 кДж/кг. Поэтому, изменение содержания кислорода в горючей массе топлива сильно отражается на его теплоте сгорания. Именно этим обусловлена значительная потеря калорийности ТБ в результате процессов гниения при неправильном ее хранении, что и обуславливает введение в стандартах на ТБ требований к хранению исходного сырья.

В генераторном газе, в отличие от жидких и твердых топлив, азот не входит в состав компонентов горючей массы, а содержится в виде молекулярного азота N<sub>2</sub> и является

балластирующим элементом. Содержание азота в генераторном газе зависит от способа подачи воздуха и бывает настолько велико, что сильно влияет на его калорийность.

Для сравнительной оценки топлив необходимо остановиться также на их физико-химических свойствах, важных для обеспечения устойчивости процесса газификации. К этим свойствам относятся: 1) реакционная способность; 2) содержание летучих; 3) характер коксового остатка; 4) механическая прочность; 5) легкость газификации; 6) транспортабельность.

Результирующего показателя качества процесса газификации и пиролиза твердых топлив на основе биомассы пока нет и получить его весьма трудно вследствие многочисленности факторов, определяющих этот показатель. Однако для облегчения классификации топлив и унификации их оценки по этому параметру, целесообразно ввести такой показатель в виде шкалы легкости применения топлив для газификации в ГУТТ. Проект такой шкалы классификации приведен в таблице 3.

Таблица 3

Классификация газогенераторных топлив по легкости их применения в ГУТТ

| Класс легкости применения топлива для газификации | Характеристика  | Вид топлива  |
|---|---|--|
| I   | Применение топлива трудности не вызывает. Может использоваться без подготовительных операций. Возможна автоматизация процесса подачи топлива.   | Древесные топливные гранулы (пеллеты)  |
| II  | Применение топлива трудности не вызывает. Может использоваться без подготовительных операций.   | Древесный уголь, древесноугольные брикеты  |
| III   | Требуется предварительная обработка топлива (сушка, разделка).  | Древесная чурка, древесный уголь   |
| IV  | Требуется предварительный отбор, обработка или обогащение топлива и дополнительные работы при эксплуатации газогенератора (чистка зольника, шуровка топлива и т. д.).   | Торф, торфобрикеты, бурый уголь, полукокс каменного угля, торфокок   |
| V   | Применение топлива возможно только после сложной обработки (брикетирование, термическая обработка и т. п.) или специального отбора сортов. При эксплуатации наблюдаются трудности обеспечения нормальной работы газогенераторной установки. | Бурый уголь и торф при повышенной зольности, каменный уголь (высшего качества), антрацит, каменноугольный кокс. Солома брикетированная |
| VI  | Применение топлива в ГУТТ по физико-химическим свойствам и эксплуатационным показателям затруднительно или экономически нецелесообразно.  | Каменный уголь   |

Приведенные материалы позволяют задать основные направления стандартизации ТБ, в том числе в аспекте их использования для газификации.

### Выводы

Жесткие требования топливной биомассе определяются конструктивными особенностями и спецификой оборудования для ее преобразования в энергию. Топливо должно обладать высокими физико-химическими свойствами, быть малозольным и иметь однородный фракционный состав, не должно содержать вредных примесей, разрушающе действующих на газогенератор, газопроводы или двигатель. Топливо должно быть транспортабельным и обеспечивать наиболее возможно больший ресурс работающего на нем агрегата. Большое разнообразие твердых топлив на основе биомассы определяет необходимость их классификации для научных и технических потребностей. Состав и качество ТБ зависят от применяемого для её изготовления сырья и способа производства. Всякая ТБ обладает рядом физико-химических свойств, изучение и анализ которых позволяют определить пригодность и

рациональность её использования в заданном направлении, а также установит границы этих свойств, при которых использование топлива (в данном случае его газификация) является еще технически возможным и экономически целесообразным. Поэтому стандартизация и сертификация в этой области не только создадут предпосылки к развитию рынка биотоплив на Украине, но и позволят ей выступить на международном рынке ТБ.

Широкое использование возобновляемых местных видов топлив позволит значительно снизить потребность внутреннего рынка Украины в топливах нефтяного происхождения. Это позволит не только соответственно снизить их импорт, но и уменьшить выбросы вредных веществ, обусловленных их использованием, что невозможно без установления стандартов на биотоплива. Это определяет первоочередность задачи скорейшего создания и апробации таких стандартов.

В современном машиностроении переплетение эксперимента и теории наиболее характерно для технологии транспортных газогенераторов, что обусловлено дефицитом соответствующей технической информации. В связи с этим развернутый анализ перспектив стандартизации твердых топлив на основе биомассы, особенно в разрезе удельной теплотворной способности, представляет собой особую ценность.

Стандартизация топливной биомассы, как этап становления специфического рынка, в свою очередь инициирует разбивку в обезлесенных районах Украины энергетических плантаций, которые будут способствовать рекультивации непригодных для сельского хозяйства почв, восстановлению микроклимата лесов и оздоровлению ландшафтов. Создание таких плантаций помимо экономического имеет и важный социальный аспект – дает возможность открыть новые рабочие места и повысить качество жизни людей.

### **Перспективы дальнейшего развития**

Растительные отходы в сельском хозяйстве представляют мощную базу газификации для получения моторного газа, базу, которая может служить реальным основанием для планирования и развития самостоятельной сети низовой энергетики с газовыми ДВС. Ежегодная возобновляемость этой сырьевой базы определяет устойчивость созданной, на её основе, энергетической системы, что является важнейшей её хозяйственно-экономической особенностью. Активная работа по реализации технических мер, направленных на эффективное использование топливно-энергетических ресурсов на основе возобновляемых местных видов топлив и отходов производства, определяет дальнейшее устойчивое развитие экономики Украины за счет ресурсосбережения и снижения энергоемкости продукции.

### **Список использованной литературы**

1. Hall D. O. Biomass as a Modern Fuel. Environmental Impacts of Bioenergy / D. O. Hall, J House // IEA Bioenergy Agreement Seminar. – Denmark : Shekkersten, September 1993. – P. 81–114.
2. Гелетуа Г. Г. Энергетический потенциал биомассы в Украине / Г. Г. Гелетуа, З. А. Марценюк // Промышленная теплотехника. – 1998. – № 4. – С. 52–56.
3. Лось Л. В. Екологічні аспекти використання газогенераторних установок в сільському господарстві / Л. В. Лось, Н. М. Цивенкова // Вісник ДАУ. – 2005. – № 1. – С.3–12.
4. Біодизельна пастка // Агробізнес України. – 2006. – № 6. – С. 6.
5. Kaupp A. State of the art for small scale gas-producer engine systems. – 1999. – P. 129–130.
6. Reed T. B Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems / T. B Reed, A. Das // The biomass energy foundation press. – Colorado : Golden, 2002.
7. Самылин А. А. Стандартизация топливной биомассы – основа развития рынка биотоплива // ЛЕСПРОМИНФОРМ. – 2006. – № 5. – С. 114–118.
8. Равич М. Б. Эффективность использования топлива. – Москва : Наука, 1977. – С. 87–90.