

УДК 620.93

ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Пшинько А.Н., докт. техн. наук, **Габринец В.А.,** докт. техн. наук

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. акад. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010

<https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2019.11>

Комплексно исследована возможность, условия и объем обеспечения эффективной работы систем теплоснабжения при переходе части теплогенерирующих мощностей на биотопливо с учетом стоимости его доставки. В качестве биотоплива предлагается применять отходы основных сельскохозяйственных культур, которые выращиваются в Приднпровском регионе.

Комплексно досліджено можливості, умови та обсяг забезпечення ефективної роботи систем теплопостачання при переході частини теплогенеруючих потужностей на біопаливо з урахуванням вартості його доставки. В якості біопалива пропонується застосовувати відходи основних сільськогосподарських культур, які вирощуються в Придніпровському регіоні.

The possibility, conditions and scope of ensuring the effective operation of heat supply systems during the transition of a part of heat generating capacities to biofuel, taking into account the cost of its delivery, has been comprehensively studied. As biofuels, it is proposed to use waste from major agricultural crops that are grown in the Dnieper region.

Библ. 10, табл. 2, рис. 7.

Ключові слова: биоресурс, сгорание биотоплива, система тепло- и горячего водоснабжения, теплотворная способность, стоимость перевозки.

f – КПД котельной;

K_w, K_b, K_c, K_s – доля посевных площадей области, которая занята под пшеницу, ячмень, кукурузу, подсолнечник;

M_i – масса собранного биотоплива, т;

$M(R)$ – масса собранной соломы в зависимости от радиуса сбора, т;

$N(R)$ – возможная мощность котельной в течение отопительного сезона в зависимости от расстояния, МВт;

N_w, N_b, N_c, N_s – незерновая часть урожая (НЧУ) пшеницы, ячменя, кукурузы и подсолнечника;

P_w, P_b, P_c, P_s – урожайности пшеницы, ячменя, кукурузы, подсолнечника, т/км²;

R – радиус сбора биотоплива, км;

r_i – теплотворная способность конкретного вида биотоплива, Дж/кг;

S_c – стоимость покупки соломы, грн;

S_d – суммарная стоимость купленной и доставленной соломы, грн;

$S(R)$ – стоимость 1 тоннокилометра доставки биотоплива в зависимости от расстояния, грн;

T – длительность отопительного сезона;

W – влажность биотоплива, %.

Актуальность. Биоэнергетика была главным источником тепла и энергии для всего человечества на протяжении примерно 300 тысячелетий. С середины 19 века ее постепенно вытеснили такие источники энергии, как уголь, нефть, газ и атомная энергия. Однако, начиная с 1973 года человечество все большее внимания уделяет возобновляемым источникам энергии (ВИЭ), среди которых биоэнергия занимает особое место. В первую очередь это связано с возможностью одновременно решать две наиболее важные проблемы человечества: продовольственную и энергетическую. Решение этих проблем связано с необходимостью системных исследований объемов и стоимости биоэнергии с позиций современных методологических подходов.

Анализ последних исследований и публикаций.

Перспективы развития и особенности использования биотоплива рассмотрены в работах [1,2,6,8]. Для анализа эффективности и оптимизации тепловых систем, использующих биотопливо, необходима разработка комплексных подходов, учитывающих специфику сельскохозяйственного производства в каждом конкретном регионе Украины с учетом стоимости его доставки, а также обоснованный выбор методики определения оптимальной мощности теплогенерирующего оборудования для каждого конкретного случая.

Цель работы. Целью работы является определение целевых показателей экономической целесообразности реализации перевода котельных на биотопливо с учетом

специфики и структуры сельскохозяйственного производства в регионе, стоимости покупки биоресурсов, стоимости их доставки к месту потребления и определению оптимальных объемов производства тепловой энергии с использованием биоресурсов.

Материал и метод исследования. Для разработки целевых показателей экономической целесообразности реализации перевода котельных на биотопливо использованы статистические данные относительно видов и масштабов производимой зерновой сельхозпродукции для Приднепровского региона с последующей оценкой возможности и масштабов энергии, которую можно получить при прямом сжигании отходов сельхозпродукции. Все результаты получены с использованием методов математического моделирования.

Результаты исследований. Преимущества биомассы как источника тепловой энергии определяются следующими важными факторами:

1. При энергетическом использовании биомассы тепличный эффект от сгорания углеродосодержащего топлива значительно снижается, поскольку углекислый газ будет постоянно изыматься из атмосферы для воспроизведения самой биомассы и не накапливаться там, как при использовании только традиционных источников энергии.

2. Ресурсы биомассы являются неограниченными, так как она является возобновляемым источником энергии.

3. Биомасса имеет преимущества с точки зрения использования отходов после ее утилизации. Зола после сгорания может вноситься в почву в качестве удобрения.

4. Закупки отходов позволит поднять доход фермеров и будут стимулировать бережное отношение к этим отходам.

В настоящей работе рассматривается только метод получения энергии из биомассы, основанный на пря-

мом ее сжигании. Это позволяет получить быструю окупаемость проекта в течении 3...5 лет. В случае использования зеленого тарифа срок окупаемости может существенно сократиться. В работе рассчитываются энергетические возможности при использовании сельскохозяйственного биотоплива, получаемого из отходов культур, выращиваемых конкретно в Днепропетровской области. Эта область расположена в центре Украины и структура ее посевных площадей и вид сельскохозяйственных культур примерно отражают среднестатистические энергетические показатели для такого биотоплива применительно для всей Украины. Поэтому результаты полученные в данной работе можно распространить на всю территорию Украины.

Энергетические возможности сельскохозяйственных культур. Для расчета энергетических возможностей сельскохозяйственных культур используют так называемую массу незерновой части урожая (НЧУ), которую можно использовать в качестве топлива. НЧУ для кукурузы являются стебли, корзинки, стержни початков, для пшеницы, ячменя и ржи – это солома, для подсолнечника – лузга, жмых, стебель, листья, корзинка.

Структура посевных площадей Днепропетровской области в 2016 году под основные культуры, их урожайности и НЧУ [3,4] приведены в таблице 1. Для дальнейших расчетов мы будем использовать только отходы таких сельскохозяйственных культур, как пшеница, ячмень, кукуруза и подсолнечник, как наиболее высокоурожайных и к тому же занимающих максимальные посевные площади.

Энергетические возможности биотоплива определяются его теплотворной способностью. На эту способность существенное влияние оказывает влажность самого биотоплива. В свою очередь влажность зависит от сроков уборки той или иной культуры. Для подсолнечника после его уборки современными комбайна-

Таблица 1. Структура посевных площадей Днепропетровской области в 2016 году под основные сельхозкультуры

Культура	Посевная площадь, га	Урожайность	Доля в % от общей посевной площади	Отношение НЧУ к зерну
Пшеница	456276	38,5 ц/га	24	1,1
Кукуруза	387486	56 ц/га	20	1,3
Ячмень	290524	31 ц/га	15,3	1,1
Подсолнечник	490146	22,4 ц/га	25,8	2
Рапс	53368	15 ц/га	2,8	1
Соя	9518	17,7 ц/га	0,5	0,9
Рожь	3349	19,5 ц/га	0,18	1

ми влажность перемолотой массы, куда входят стебли, листья и корзинки составляет порядка 20...30%. Для уменьшения влажности целесообразно уборку его производить в более поздние сроки. Необходимо принять во внимание и тот факт, что доля подсолнечника в общем балансе посевных площадей непрерывно увеличивается. Это характерно как для Днепропетровской области, так и для большинства областей южной и центральной Украины. Он, по сути, становится культурой номер один по величине занимаемой площади. Для кукурузы, которая, как видно из таблицы 2, имеет после подсолнечника самое высокое значение НЧУ, важны не только срок уборки, но и ее назначение. Это зерно или силос. Для энергетических целей можно использовать только отходы кукурузы после уборки ее на зерно. При этом также существуют варианты уборки: без обмолота початков и с их обмолотом, которые проходят в разные сроки. С обмолотом уборка проводится в более поздние сроки и поэтому отходы имеют меньшую естественную влажность. Эту влажность можно существенно уменьшить, если уборку переносить на более поздние сроки (декабрь-ноябрь) с 35% до 15%. ($Q=15...17$ МДж/кг) [2].

Вопрос влажности важен также при уборке пшеницы и ячменя. Сразу после уборки урожая этих культур влажность соломы составляет 15...20% (теплота сгорания $Q=12...15$ МДж/кг). Затягивать уборку зерновых, как это предлагается для подсолнечника и кукурузы, невозможно из-за осыпания зерна. Для зерновых при использовании соломы в энергетических целях лучше оставлять солому на поле для ее просушивания. Это снизит ее влажности до 14...17% ($Q = 14...15$ МДж/кг). Дополнительным позитивным побочным эффектом от такого подхода будет снижение вредного содержания

хлора в соломе. Так, для вымывания хлоридов из соломы необходимо 5...7 дней. Эти ингредиенты ведут к коррозионному разрушению металлических конструкций котлов. Экологические проблемы использования биотоплива рассмотрены в работе [10]. Виды и некоторые характеристики биотоплив растительного происхождения приведены в таблице 2.

Общим для всех видов биотоплива эффективным технологическим подходом, позволяющим решить самые значительные проблемы для биотоплива: влажность и малая плотность, является изготовление топливных гранул/пеллет. В процессе изготовления гранул можно существенно снизить влажность биотоплива при его измельчении при изготовлении гранул. Кроме того, использование гранул увеличивает плотность биотоплива до 1.2...1.4 кг/дм³, что в десятки раз превышает плотность исходного сырья. Это позволит в разы сократить стоимость перевозок биотоплива к месту потребления. К тому же сжигание биотоплива в виде пеллет позволит унифицировать как конструкцию самих котлов, так и конструкцию подающего пеллеты оборудования [5]. Такая унификация позволит снизить их стоимость. Это значительно увеличит преимущества использования биотоплива для энергетических нужд.

Энергетические и экономические показатели использования собранного биотоплива. Для расчета возможного количества собранного биотоплива на произвольной площади нужно учитывать урожайность культур, ее процентную долю в общей площади с/х культур и НЧУ. Из статистических данных для Днепропетровского региона доля посевной площади, урожайность, количество перспективного биотоплива с одного гектара и НЧУ приведены в таблице 1. В Днепропетровской

Таблица 2. Характеристики биотоплив растительного происхождения

Показатели	Свежая солома («желтая»)	Солома, хранившаяся на поле, («серая»)	Стебли кукурузы	Биомасса подсолнечника	Древесная щепа (для сравнения)
Влажность, %	10...20%	10...20%	45...60% (после сбора) 15...18% (сушеное на воздухе)	20...30%	40%
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	14,4	15	16,7 (с.в.), 5...8 (W 45...60%), 15...17 (W 15...18%)	16 ($W < 16\%$)	10,4

области 63% земель занято посевними площадями. Это составляет для региона 968 тыс. га [7-8]. Доля посевной площади агрокультур, отходы которых можно использовать, как биотопливо, приведена в таблице 1. Условно, саму котельную будем рассматривать, как центр доставки биотоплива с любого направления. По оценке экспертов [6], а также на основании опыта ряда западных стран на энергетические нужды ежегодно Украина может использовать до 20% полученных отходов без каких-либо существенных последствий для плодородия почвы. Эту цифру мы будем использовать в дальнейших расчетах для всех агрокультур. Тогда потенциальное количество биотоплива в тоннах, которое можно получить для котельной с площади радиусом R , можно вычислить по соотношению:

$$M(R) = \int_0^{20} 2\pi R \cdot 0,63 \cdot 0,20 \cdot (P_w \cdot K_w \cdot N_w + P_b \cdot K_b \cdot N_b + P_c \cdot K_c \cdot N_c + P_s \cdot K_s \cdot N_s) \cdot dR, \quad (1)$$

где 0,2 — коэффициент, определяющий долю отходов, которую можно применять в качестве биотоплива, 0,63 — общая доля посевных площадей области, P_w, P_b, P_c, P_s — урожайности пшеницы, ячменя, кукурузы, подсолнечника, соответственно, K_w, K_b, K_c, K_s — доля посевных площадей области, которая занята под пшеницу, ячмень, кукурузу, подсолнечник. N_w, N_b, N_c, N_s — НЧУ

пшеницы, ячменя, кукурузы и подсолнечника. Результат подсчета массы собранного биотоплива по соотношению (1) приведен на рис. 1.

Энергетические возможности от применения различных видов биотоплива в Днепропетровской области рассчитывались по соотношению:

$$W_i = \int_0^{20} M_i(R) \cdot r_i \cdot dR, \quad (2)$$

W_i — количество энергии, которую можно получить от конкретного вида биотоплива, МДж, M_i — масса собранного биотоплива, т, r_i — теплотворная способность конкретного вида биотоплива, R — радиус сбора биотоплива. Результаты расчета по соотношению (2) приведены в графике рис. 2.

Из графика рисунка 2 видно, что наибольшим энергетическим потенциалом для Днепропетровской области при сжигании отходов обладает кукуруза. С одной сторон это связано с большой долей площадей занятых под эту культуру и ее высокой урожайностью, с другой стороны, у кукурузы достаточно высокое значение НЧУ.

Суммарное количество энергии, которое можно получить от всех вместе отходов с. / х. производства приведено на рисунке 3. Это количество рассчитывалось по соотношению:

$$W(R) = \sum W_i(R). \quad (3)$$

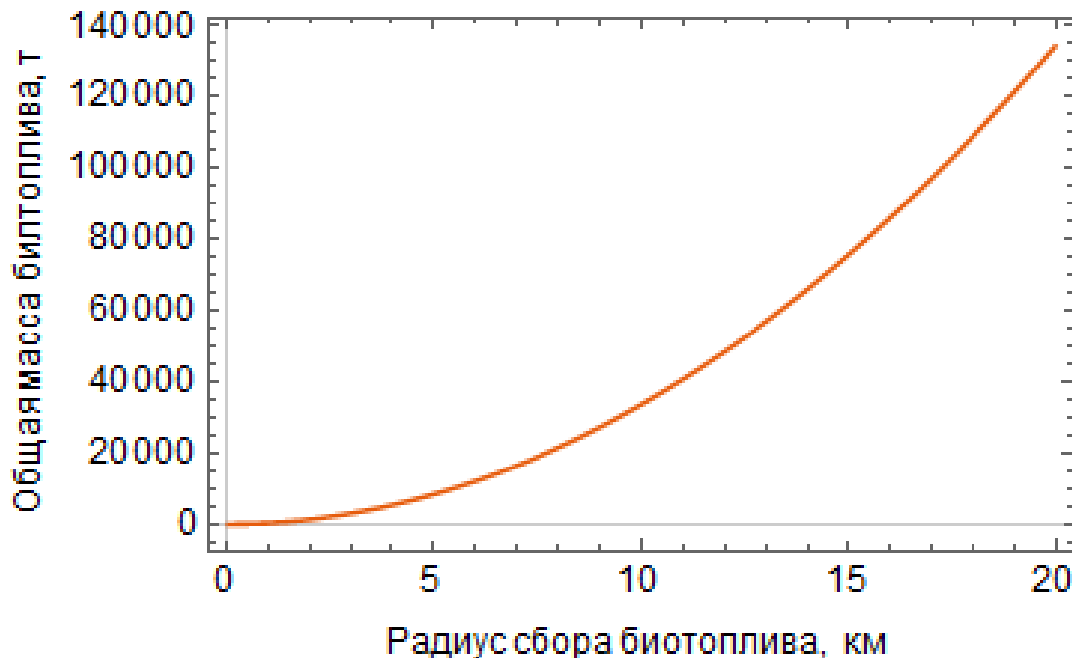


Рис. 1. Возможная масса биотоплива, которую можно собрать возле г. Днипро.

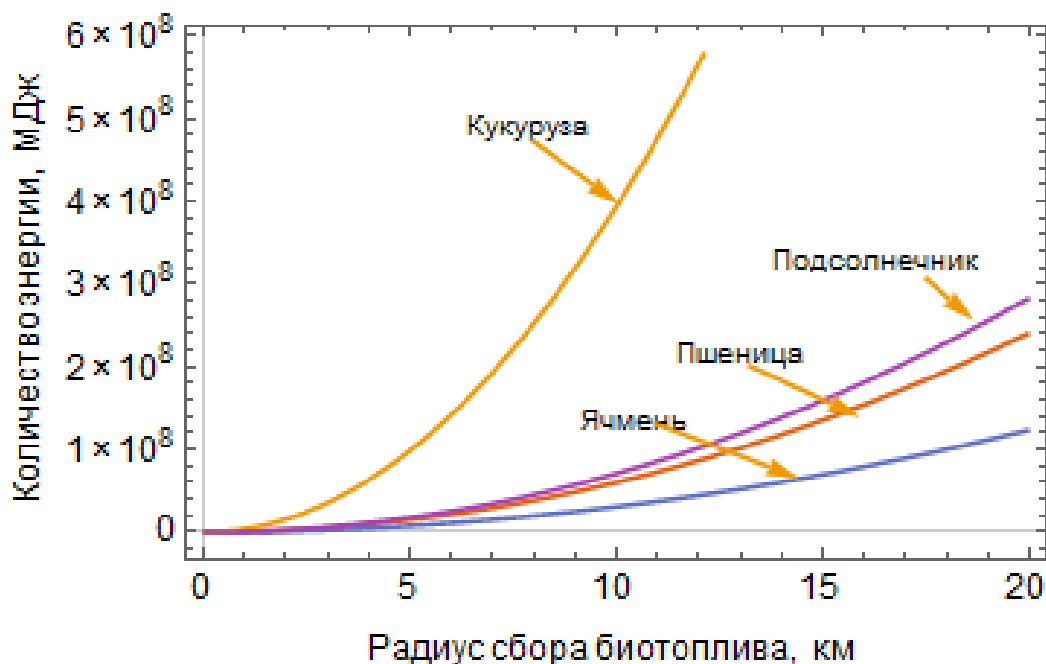


Рис. 2. Потенциальные возможности использования в качестве биотоплива отходов с/х культур для Днепропетровской области.

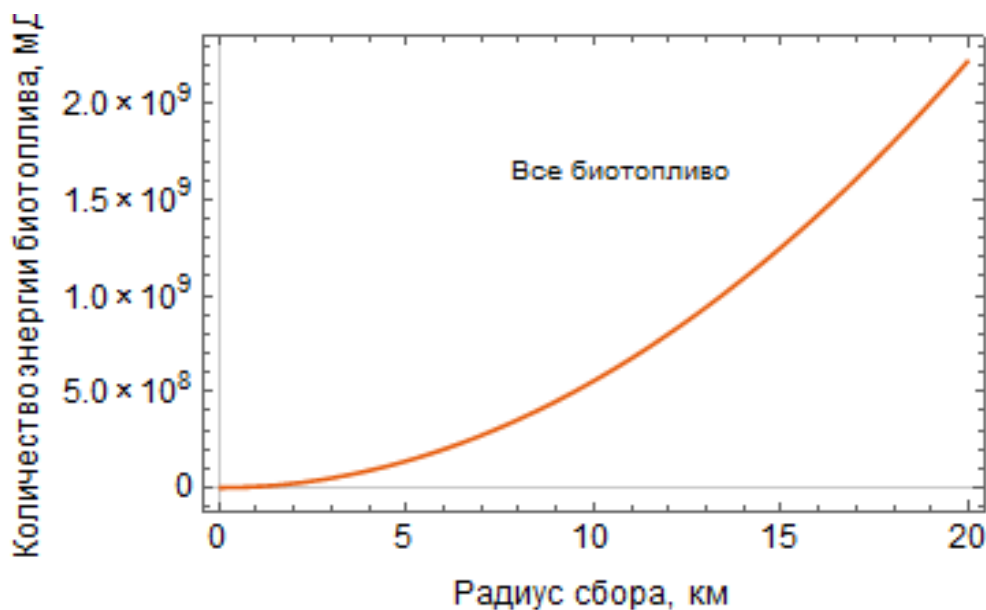


Рис. 3. Суммарное количество энергии, которое можно получить от всех вместе с/х отходов.

Результат расчета по соотношению (3) приведен на графике рисунка 3.

Возможная мощность котельной в условиях непрерывной работы в течение отопительного сезона (длится 175 дней), которую способно обеспечить собранное около г. Днипро с различной площади биотопливо при среднем КПД котельной, теплотворной способности,

приведенной в таблице 2, рассчитывалось по соотношению (4):

$$N(R) = \frac{W(R) \cdot f}{T}, \quad (4)$$

где f – КПД котельной, принимался равным 0,82, T – длительность отопительного сезона.

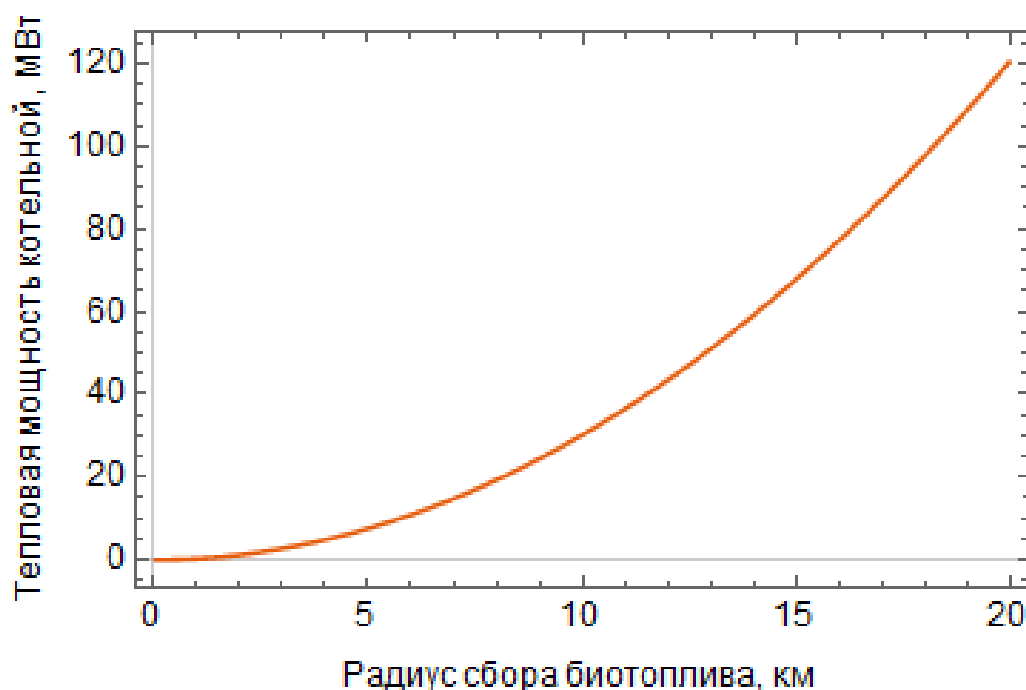


Рис. 4. Возможные значения мощности котельных, работающих на собранном в Днепропетровском регионе биотопливе.

Результат расчета по соотношению (4) приведен на графике рисунка 4.

Так, город Купянск в Харьковской области с населением 28 755 [1] человек обогревается от 15-ти газовых котельных с суммарной установленной мощностью 90 Гкал/час (104,67 МВт). Из графика рис. 4 видно, что для того чтобы обеспечить непрерывную работу этих котельных в течение отопительного сезона нужно собирать биотопливо в радиусе не больше 18 км. Количество населения, которое имеют большинство районных центров Днепропетровской области, колеблется в пределах 40...4 тысяч человек. Все котельные в них могут быть переведены на использование биотоплива вместо газа. Для всей Днепропетровской области, которая имеет площадь 31923 квадратных километров суммарная мощность таких котельных может составлять 2000...2100 МВт.

При переходе на биотопливо нужно учитывать не только его стоимость, но и стоимость перевозок. Эффективность транспортно-логистических операций является одним из ключевых факторов рентабельности заготовки биотоплива. Стоимость перевозок по Украине зависит от расстояния перевозки. Если аппроксимировать данные различных фирм относительно стоимости одного тоннокилометра в 2016 году квадратичной зави-

симостью, то получаем соотношение:

$$S(R) = 3,53214 - 0,0114295 R + 0,0000160748 R^2. \quad (5)$$

Для линейной зависимости имеем соотношение:

$$S(R) = 3,39517 - 0,0077453 R, \quad (6)$$

где $S(R)$ — стоимость одного тоннокилометра для 2016 года, R — расстояние перевозки груза.

Обработка статистических данных по стоимости одного тоннокилометра для 2016 года для линейной и квадратичной зависимостей приведена на рис. 5.

Если посчитать себестоимость тонны соломы с учетом всех затрат на приобретение, прессование в рулон и доставку, то получим результат в пределах от 250 до 1000 грн. [2,3]. Такой разрыв стоимости обусловлен качеством сырья, условиями доставки и сбора.

Сама стоимость четырех видов биотоплива для Украины составляет от 500 до 1500 грн. за тонну. Для наших расчетов возьмем среднюю стоимость — 1000 грн. за тонну. Это биотопливо нужно также доставить в котельную, поэтому надо принимать во внимание также стоимость доставки его для котельной. Общую стоимость купленного и доставленного в котельную биото-

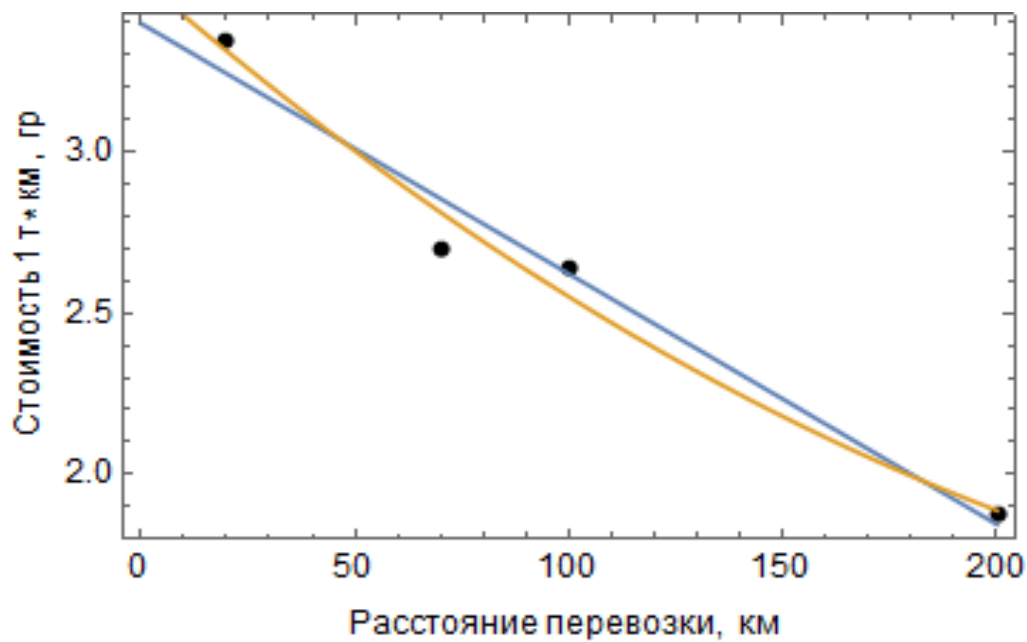


Рис. 5. Середня ціна перевезення вантажів для України в 2016 році.

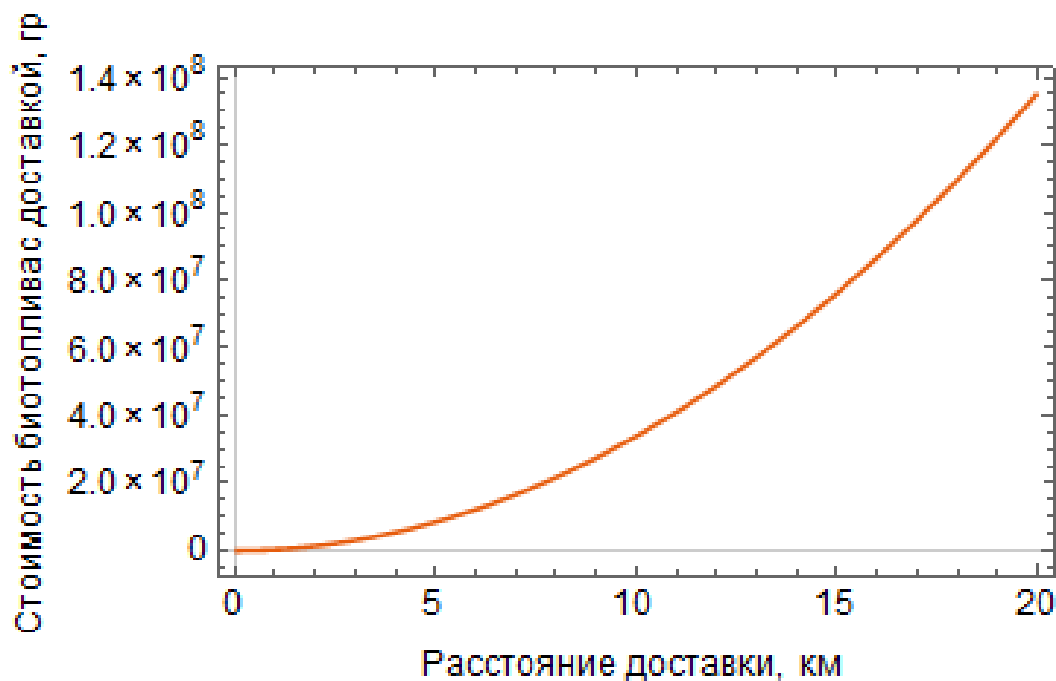


Рис. 6. Ціна збираного біопалива з урахуванням витрат на закупівлю та доставку.

палива можна вирахувати за формулою:

$$S_d = S_c \cdot M(R) + \int_0^R M(R) \cdot S(R) \cdot dR, \quad (7)$$

де S_d — сумарна ціна купленої та доставленої

палива, грн; S_c — ціна покупки соломи, грн; $S(R)$ — ціна за 1 т·км доставки біопалива залежно від відстані, грн; $M(R)$ — маса збираної соломи залежно від радіуса збору, т; R — радіус збору, км.

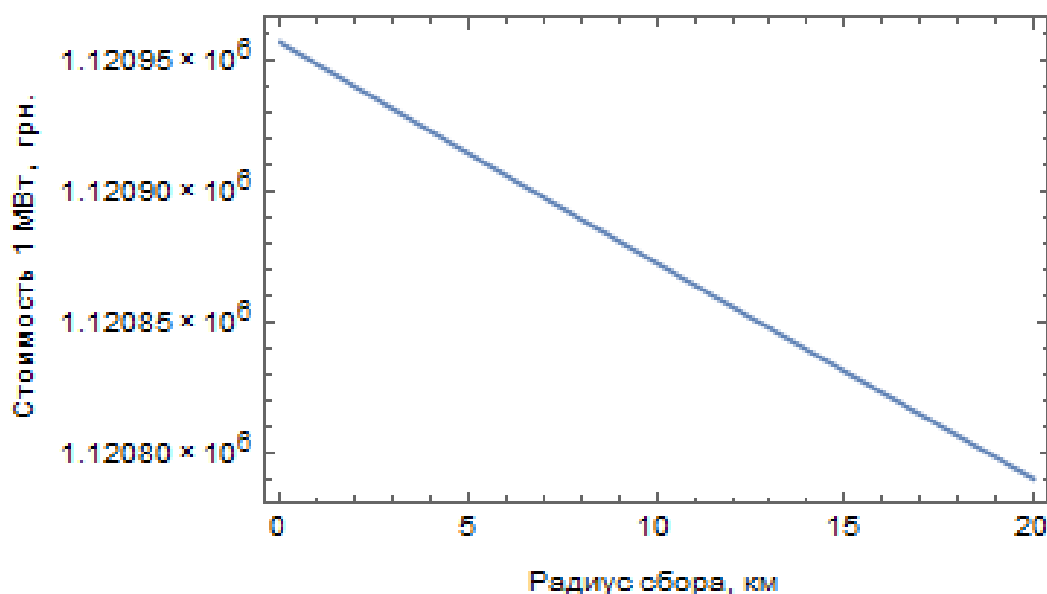


Рис. 7. Стоимость 1 МВт мощности котельной в зависимости от расстояния збора биотоплива.

Расчет затрат на покупку и доставку соломы в котельную по соотношению (7) приведен на рис. 6.

Была также вычислена стоимость 1 МВт мощности котельной в зависимости от расстояния збора соломы. Расчет осуществлялся по соотношению

$$S_1 = \frac{S_D}{N(R)}, \quad (8)$$

где $N(R)$ — возможная мощность котельной в условиях непрерывной работы в течение отопительного сезона в зависимости от расстояния.

Результат расчета по соотношению (8) приведен на рис. 7.

Для сравнения стоимость 1 МВт в течение отопительного сезона для газа по цене 9 600 гривен за 1000 м^3 [5,7] будет равна $5,68976 \cdot 10^6$ гривен, то есть будет в пять раз дороже.

Выводы

Показана возможность перевода части мощностей котельных Днепропетровского региона на применение биотоплива. Такой перевод дает возможность обеспечить топливом 75...85% котельных, действующих в районных центрах области. При этом из сельскохозяйственного оборота для энергетических нужд будет изыматься только 20% отходов, что не скажется на самом обороте. Зола после сгорания биотоплива может использоваться в качестве удобрения. Показано, что для Днепропетровского региона наиболее энергоемкими являются отходы

кукурузы и подсолнечника, что связано с большой долей площадей занятых под эти культуры, их высокой урожайностью и достаточно высоким значением НЧУ. При существующем положении по себестоимости покупки и перевозок биотоплива себестоимость одного МВт тепловой мощности будет примерно в 5 раз ниже по сравнению с применением природного газа в качестве топлива. При росте мощностей котельной переход ее на биотопливо становится более рентабельным. Использование биотоплива в виде пеллет существенно повышает эффективность использования самого биотоплива и снижает стоимость его перевозки. Сжигание биотоплива в виде пеллет позволит унифицировать как конструкцию самих котлов, так и конструкцию подающего пеллеты оборудования. Окупаемость при применении биотоплива может составить 3...5 лет.

ЛІТЕРАТУРА

1. Никитин, Е. Е. Концептуальные вопросы модернизации теплообеспечения населенных пунктов Украины // Проблемы загальної енергетики : наук. зб. Нац. акад. наук України, Ін-т заг. енергетики. — Київ, 2012. — Вип. 2. — С. 5–11.
2. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Кучерук П.П., Олейник Е.Н., Трибой А.В. Биоэнергетика в Украине: современное состояние и перспективы развития. Ч.1//Промышленная теплотехника.—2015— №2. Vol.37.— С.6–74.
3. <http://www.4sg.com.ua/ru/>

4. http://utem-bioenergy.com/ru/straw_potential.php
5. *Никитин, Е. Е., Дутка А. В.* Оценка технико-экономической эффективности комплексной термомодернизации централизованной систем теплоснабжения и зданий // Энергетика и ТЭК. – 2013. – № 9 (126). – С. 22–26.
6. *Пішійко О. М., Кузнєцов В. Г., Яценко Д. К., Габрінець В. О.* Підвищення ефективності роботи системи тепlopостачання інфраструктури громадських будівель на прикладі ДНУЗТ // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 3 (63). – С. 97–107.
7. *Дешко В. І., Шовколюк М. М., Шовколюк Ю. В., Дудніков С. М.* Показники ефективності систем тепlopостачання // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.техн. зб. – Київ, 2012. – Вип. 16. – С. 182–192.
8. *Пішійко О. М., Габрінець В.О., Горячкін В.М.* Аналіз ефективності системи тепlopостачання студмістечка Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 2 (50). – С.74–82.
9. *Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Трибой А.В.* Перспективы выращивания и использования энергетических культур в Украине. Ч2//Промышленная теплотехника.–2015.– №5.Vol.37.–С.58–68.
10. *Гелетуха Г.Г., Железная Т.А. Дроздова О.И.* Энергетический и экологический анализ технологий производства энергии из биомассы. Часть 2//Промышленная теплотехника.–2015– №2.Vol.37.– С.53– 63.

POTENTIAL OF USING AGRICULTURAL BIORESOURCES FOR RECEIVING HEAT ENERGY

Pshinko O., Habrinets V.

Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, vul.

<https://doi.org/10.31472/tpe.2.2019.11>

The study analyze the possibility, conditions and scope of ensuring the effective operation of heat supply systems in the transition of some of the heat generating capacity to biofuel. It is proposed to use waste of the main agricultural crops that are grown in the Dnieper region as a biofuel. The main goal of the work is a scientific miscalculation of the possible mass of waste, their cost, including the cost of delivery. This mass is supposed to be used for combustion in order to obtain thermal energy. The work evaluates the cost of heat energy generated by burning waste. When calculating the cost, the logistics of the delivery itself are taken into account. The work identifies the possibilities of the Dnieper region to ensure the receipt and biofuel supply for the operation of the boiler house .. The cultures whose wastes are the most promising for use are identified . The cost parameters of cargo transportation in the territory of Ukraine in 2017, which depend on the distance, and also on the size trucks. These indicators, as well as indicators related to its purchase, are considered together with the energy potential of biofuel use as a source of thermal energy. The productivity of the main agricultural crops and the scale of their cultivation in the Dnieper region, the cost parameters of the purchase and transportation of waste from these crops make it possible and profitable to transfer a large proportion of the region's heat generating capacity to biofuel. The cost of a unit of thermal power can be reduced by a factor of five. For the first time, it was proposed to use new integrated approaches for estimating the cost parameters for heat generating thermal capacities when they are converted to the use of renewable regional bioresources. The authors also proposed a new logistics for the delivery of these sources to their place of application. From the technical and cost sides, the optimum scale of transfer of heat generating capacities to new renewable energy sources in a particular region is determined, depending on the structure of the sown areas and their productivity. The introduction of proposed solutions and approaches that ensure the use of renewable bioresources of energy can be realized with relatively small capital investments and can have a significant economic effect.

References 10, figures 7, table 2.

Keywords: bioresources, combustion of straw, heat and hot water supply system, heat losses, calorific value, cost of transportation.

1. *Nikitin E. E.* [Problems of general energy: a scientific collection]. National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of General Energy. Kyiv, 2012. Vip. 2. P. 5–11. [in Russian].

2. *Geletuxa G.G., Zheleznaya T.A., Kucheruk P.P., Olejnik E.N., Triboj A.V.* [Bioenergy in Ukraine: current state and development prospects. Part 1], *Promyshlennaya teplotekhnika*. [Industrial Heat Engineering], 2015. №2.Vol.37. P.68-74. [in Russian].

3. <http://www.4sg.com.ua/ru/>

4. http://utem-bioenergy.com/ru/straw_potential.php

5. *Nikitin E.E., Dutka A.V.* [Evaluation of technical and economic efficiency of integrated thermal modernization of centralized heat supply systems and buildings], *Energetika i TEK.*[Energy and Fuel and Energy Complex]. 2013. № 9 (126). P. 22–26. [in Russian].

6. *Pshin`ko O.M., Kuznyeczov V.G., Yacenko D. K., Habrinets V. O.* [Improvement of efficiency of the system of heat supply of infrastructure of public buildings on the example of DNVZT], *Nauka ta progres transport* [Science and transport progress]. 2016. № 3 (63). P. 97–107 (in Ukr.)

7. *Deshko V.I., Shovkolyuk M.M., Shovkolyuk Yu.V., Dudnikov S. M.* [Indicators of efficiency of heat supply systems]. *Ventilyaciya, osvitlennaya ta teplogazopostachannya: nauk. -texn. zb./* [Ventilation, lighting and heat and gas supply: scientific and technical collection], Kyiv. 2012. V. 16. P. 182–192 (in Ukr.)

8. *Pshin`ko O.M., Habrinets V.O., Goryachkin V.M.* [Analysis of the efficiency of the heat supply system of the campus of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport]/ *Nauka ta progres transport* [Science and transport progress]. 2014. № 2 (50). P.74–82 (in Ukr.)

9. *Geletuxa G.G., Zheleznaya T.A., Triboj A.V.* [Prospects for the cultivation and use of energy crops in Ukraine. Part 2], *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering], 2015. №5.Vol.37. P.58–68 (in Russian).

10. *Geletuxa G.G., Zheleznaya T.A Drozdova O.I.* [Energy and environmental analysis of biomass energy production technologies. Part 2], *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering], 2015. №2.Vol.37. P.53–63 (in Russian).

Отримано 05.02.2019

Received 05.02.2019