

УДК 662.6/9(075.8)+621.1(075.8)

## **ВЫБОР ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

© *А.Э. Пиир, д-р техн. наук, проф.*  
*В.И. Мелехов, д-р техн. наук, проф.*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,  
наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002  
Тел.: +79115686819

*В.Б. Кунтыш, д-р техн. наук, проф.*

Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а,  
г. Минск, Республика Беларусь, 220006  
Тел.: +7(375-17) 226-46-12

Архангельская область – самая холодная из обжитых территорий Европы, лишена запасов минерального топлива. Повышенное потребление энергии, высокие тарифы на тепло и электричество делают убыточной и не конкурентоспособной любую производственную деятельность, ведут к свертыванию традиционных отраслей промышленности и оттоку населения из региона.

Расчеты показывают, что область обладает огромными возобновляемыми запасами биотоплива, способными покрыть около половины потребности в привозных энергоресурсах: каменном угле, мазуте и газе.

Потребительские свойства различных видов древесного топлива резко отличаются по качеству и стоимости, поэтому его эффективное использование требует выработки четкой региональной политики, как это имеет место у наших соседей в Финляндии и Швеции, делающей его одинаково привлекательным как для инвесторов, так и для потребителей.

В статье приведены методика и результаты расчета себестоимости производства теплоты в котельных, работающих на различном местном древесном топливе, выполнено сравнение показателей котельных на самом дорогом и самом дешевом из привозных минеральных топлив (мазут и каменный уголь).

Показано, что древесная щепа и каменный уголь гарантируют одинаково низкую себестоимость теплоты (579 и 682 р./Гкал), а древесные гранулы и мазут – одинаково высокую (1243 и 1197 р./Гкал). Отходы лесопиления (опилки и кора) обеспечивают минимальную себестоимость теплоты (356 р./Гкал) при сжигании их в местах образования.

Основные направления, рациональной политики в области малой энергетики: использование древесных отходов лесопиления в производственных котельных и мини-ТЭЦ лесопильных заводов;

широкое применение древесной щепы в отопительных котельных поселков, расположенных в местах заготовки леса;

развитие экспортного производства древесных гранул и древесного угля, а также энергохимической переработки отходов древесины для освоения всего потенциала возобновляемой «зеленой» энергии.

*Ключевые слова:* древесное топливо, себестоимость теплоты, коммунальная энергетика, ресурсы биомассы.

В Архангельской области на обогрев жилья и производственную деятельность жители вынуждены тратить теплоты в 2–2,5 раза больше, чем в Скандинавских странах и Канаде, расположенных на той же широте [3]. Кроме того, районные коэффициенты и северные доплаты к зарплате, составляющие в сумме 70 %, заметно повышают себестоимость продукции во всех отраслях.

В этих условиях промышленное производство на Севере может быть рентабельным на внутреннем и конкурентоспособным на внешнем рынках только при низких тарифах на теплоту и электроэнергию, что возможно лишь при дешевом топливе и рациональной политике в области тарифообразования, гарантирующей прибыль энергопроизводителям. Начатое еще в 1991 г. по инициативе общественной организации «Экология Севера» строительство газопровода Нюксеница – Архангельск растянулось на 20 лет. За этот период цена газа выросла многократно, поэтому подача газа в Архангельскую область не оставила надежды потребителям на низкие тарифы. Резкий спад производства в Архангельской области в 90-х гг. был вызван двойным увеличением тарифа на энергию по сравнению со средним по России уровнем [2].

Половина территории Архангельской области (без НАО) покрыта лесами. Древесина во все времена была естественным материалом для строительства жилья, а дрова – единственным местным топливом для его обогрева. Заготовка и переработка древесины – это традиционные занятия населения области, проживающего в мелких поселках по берегам рек и вдоль железной и шоссейных дорог.

Общий запас древесины Архангельской области достигает 211 Мм<sup>3</sup>, ежегодный прирост – 33 Мм<sup>3</sup>, научно обоснованный объем заготовки – 29 Мм<sup>3</sup>. В лесах преобладают ценные хвойные породы (ель, сосна – 83 %), остальное приходится на лиственные породы (береза, осина – 17 %). Из-за отсутствия надлежащего ухода средняя продуктивность лесов области в 2 раза ниже потенциально возможного по природным условиям уровня и составляет 90...140 м<sup>3</sup>/га, в то время как в Финляндии – 250 м<sup>3</sup>/га [2].

Оценим ресурс «зеленой» энергии, образующейся в Архангельской области при заготовке древесины и производстве пиломатериалов.

Максимальная вывозка древесины (22,6 Мм<sup>3</sup>) была достигнута в 1990 г., при этом объем биомассы брошенных лесосечных отходов – 6,0 Мм<sup>3</sup>, пней – 5,0 Мм<sup>3</sup>, т. е. общие потери (11,0 Мм<sup>3</sup>) биомассы, пригодной для переработки в щепу, равнялись половине от объема заготовки древесины. Производство пиломатериалов в 1990 г. составило 5,00 Мм<sup>3</sup> при объеме кусковых отходов, опилок и коры 1,25 Мм<sup>3</sup> [2].

Теплоту сгорания и энергетические эквиваленты 1 плотного м<sup>3</sup> древесного топлива, состоящего на 2/3 из щепы лесозаготовок и на 1/3 из коры и опилок, примем по данным НИИ леса Финляндии METLA [1]:

$$1 \text{ м}^3 = 2,0 \text{ МВт} \cdot \text{ч} = 7,2 \text{ ГДж} = 1,72 \text{ Гкал} = 0,246 \text{ т у.т.}$$

При сжигании 1 м<sup>3</sup> на ТЭЦ можно получить 0,6 МВт·ч электроэнергии и 1,2 МВт·ч теплоты на отопление [1].

Тепловой потенциал отходов заготовки древесины и производства пиломатериалов Архангельской области в 1990 г. составил (не менее)

$$Q_{\text{отх}} = (11,00 + 1,25) \cdot 10^6 \cdot 7,2 = 90,0 \cdot 10^6 \text{ ГДж} = 3,1 \cdot 10^6 \text{ т у.т.}$$

Оценим годовое потребление теплоты на коммунальные нужды населением Архангельской области. По санитарно-гигиеническим нормам на одного жителя полагается теплоты, Гкал/год: отопление жилых зданий – 3,4; отопление и вентиляция общественных зданий – 1,0; горячее водоснабжение – 2,0; бани, столовые, прачечные – 0,6. Итого – 7,0 Гкал/год [3].

При численности населения Архангельской области 1,43 млн чел. расчетное потребление теплоты на коммунальные нужды

$$Q_{\text{пот}} = 7,0 \cdot 1,43 \cdot 10^6 = 10,0 \cdot 10^6 \text{ Гкал} = 41,86 \cdot 10^6 \text{ ГДж.}$$

Таким образом, производство зеленой энергии в 1990 г. в 2 раза превышало расчетное потребление теплоты на коммунальные нужды, и, как видно ниже, способно покрыть более 40 % максимальной годовой потребности области в топливе.

В крупных городах (Архангельск, Северодвинск, Новодвинск, Коржма) сосредоточено 2/3 населения области, которое получает централизованное теплоснабжение от городских и промышленных ТЭЦ, работающих на минеральном привозном топливе.

В советское время сельская коммунальная энергетика была ориентирована на сжигание каменного угля и мазута, поскольку котельные для этого топлива были более надежны и механизированы по сравнению с дровяными котельными, а дешевое мазутное топливо имелось в избытке.

Максимум потребления энергоресурсов (7,3 Мт у.т.) Архангельская область достигла в 2000 г., при этом только 8 % потребности покрывалось местным топливом (дрова, отходы лесопильного производства, торф, гидролизный лигнин, отходы ЦБП), остальное – за счет поставок природного газа из Западной Сибири и НАО, мазута с нефтеперегонных заводов Уфы, Ухты, Ярославля, каменного угля из Воркуты и Печоры. Кроме того, в 2000 г. область закупила на федеральном оптовом рынке России 1,5 млрд кВт·ч электроэнергии (33 % от потребности) [2].

Рост цен на мазут и газ, проблемы с доставкой угля, появление на рынке полностью механизированных топок для сжигания высоковлажного древесного топлива и гранулированного древесного топлива потребовало пересмотра

топливной политики в сельской энергетике в сторону широкого использования древесных отходов в местах их образования. Огромные объемы брошенных лесосечных древесных отходов требуют расширения способов их утилизации: на мини-ТЭЦ для комбинированной выработки теплоты и электроэнергии; получение генераторного газа, древесного угля, жидкого топлива; энергохимическая переработка и т.д.

Потребительские качества разных видов древесного топлива зависят от его происхождения и могут резко отличаться между собой по полезным свойствам и стоимости.

1. Древесная щепа из отходов лесозаготовок (ветки, вершины, пни). Влажность – свыше 40 %, из отходов после естественной их сушки – 25 %; теплота сгорания щепы – 11,0...15,0 МДж/кг. Стоимость (500...700 р./м<sup>3</sup>) определяется расходами на сбор, измельчение и вывозку. Экономически оправдана транспортировка щепы на расстояние до 30...50 км.

2. Отходы лесопиления (кора, опилок, кусковые отходы). Влажность – 45 %, теплота сгорания – 9,5 МДж/кг. Стоимость – нулевая. Не требует удаленной транспортировки, так как образуется недалеко от мест сжигания (производственные котельные).

3. Дрова из отходов лесозаготовок и рубок ухода. Стоят дешево, после естественной сушки в течении года имеют влажность 25 % и теплоту сгорания 15,0 МДж/кг.

4. Древесные гранулы, полученные из отходов лесопиления. Влажность – 7...8 %, высокая теплота сгорания 17,6 МДж/кг. Стоимость (до 4000 р./т) связана с высокими затратами энергии на помол, сушку и прессование. На приготовление 1 т гранул требуется 4,3 м<sup>3</sup> щепы и сложное дорогостоящее импортное оборудование. Допускают дальние перевозки и длительное хранение в специальных условиях.

Обращает на себя внимание резкая диспропорция между ценой и теплотой сгорания различных видов топлива. Обобщающей характеристикой топлива является стоимость его теплоты сгорания  $c_t$ , равная отношению стоимости топлива  $c_b$  к теплоте сгорания  $Q_n^p$ :

$$c_t = c_b / Q_n^p.$$

Для отходов лесопиления и древесных гранул себестоимость теплоты сгорания различается более чем в 20 раз, что влияет на стоимость теплоты, отпускаемой потребителям.

Рассмотрим экономическую сторону выработки тепла в котельных, использующих различные виды топлива. Как известно, наилучшим топливом является то, которое обеспечивает минимальную себестоимость теплоты при производстве и максимальную прибыль при реализации ее по рыночным ценам:

$$C = \alpha K + c_b B + \dots, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – доля годовых отчислений;

$K$  – капиталовложения в котельную;

$B$  – годовой расход топлива.

На эти два слагаемых в годовой себестоимости приходится более 80 %, поэтому остальными составляющими можно пренебречь.

Воспользуемся зависимостями для капитальных вложений в котельные  $K$ , годового расхода топлива  $B$  и годового отпуска теплоты  $Q$ :

$$K = \kappa_{уд} Q_{уст}; \quad (2)$$

$$B = Q / Q_n^p \eta_k; \quad (3)$$

$$Q = Q_{уст} \tau, \quad (4)$$

где  $\kappa_{уд}$  – удельные капиталовложения;

$Q_{уст}$  – тепловая мощность котельной;

$\eta_k$  – КПД котельной;

$\tau$  – число часов использования установленной тепловой мощности.

При сжигании высоковлажных древесных отходов  $\eta_k$  может превышать 100 %, если использовать теплоту конденсации влаги из уходящих продуктов сгорания.

Удельная себестоимость получения теплоты в котельной

$$c = \frac{C}{Q} = \frac{\alpha \kappa_{уд}}{\tau} + \frac{c_b}{\eta_k Q_n^p} = c_k + c_t / \eta_k, \quad (5)$$

где  $c_k$  – капитальная составляющая в себестоимости получения теплоты (или отчисления от капитальных затрат).

Для сжигания древесного топлива применяют либо специальные топки, либо котлы известных марок с реконструированной топкой.

Исходя из известной цены для небольшой котельной с паровыми мазутными котлами [3] и с учетом коэффициента индексации ( $10^2$ ) цен 1990 г. в цены 2012 г., удельные капитальные вложения

$$\kappa_{уд} = 40 \cdot 10^3 \cdot 10^2 = 4 \cdot 10^6 \text{ р./МВт.}$$

Примем удорожание для котельных на каменном угле, дровах и древесных гранулах – 15 %, для котельных на щепе и влажных древесных отходах – 25 %.

Тогда капитальная составляющая в себестоимости получения теплоты:

$$\text{для мазутной котельной } c_k = \frac{\alpha \kappa_{уд}}{\tau} = \frac{0,1 \cdot 4 \cdot 10^6}{2000 \cdot 3600} = 56 \text{ р./ГДж};$$

для котельной на угле и древесных гранулах – 60 р./ГДж;

для котельной на щепе и дровах – 69 р./ГДж;

для котельной на влажных древесных отходах лесопиления – 75 р./ГДж.

| Топливо                          | Влаж-<br>ность<br>W,<br>% | Плот-<br>ность<br>$\rho$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | Теплота<br>$Q_n^p$ ,<br>МДж/кг | КПД<br>котла<br>$\eta$ | Стоимость                         |  | Отчисле-<br>ния от<br>капзатрат,<br>р./ГДж | Удельная себе-<br>стоимость полу-<br>чения теплоты |         |
|----------------------------------|---------------------------|---|--------------------------------|------------------------|-----------------------------------|--|--|--|---------|
|                                  |                           |   |                                |                        | 1кг<br>топ-<br>лива<br>$c_v$ , р. | теплоты<br>сгора-<br>ния $c_t$ ,<br>р./ГДж |  | р./ГДж   | р./Гкал |
| Щепа из отходов<br>лесозаготовок | 40                        | 850   | 11,0                           | 0,90...<br>1,10        | 500*;<br>0,60                     | 55   | 69   | 124  | 579     |
| Дрова                            | 25                        | 750   | 15,0                           | 0,90...<br>1,00        | 250*;<br>0,33                     | 22   | 69   | 91   | 381     |
| Отходы лесопи-<br>ления          | 45                        | 800   | 9,5                            | 0,90...<br>1,15        | 0,1                               | 10   | 75   | 85   | 356     |
| Древесные гра-<br>нулы           | 7                         | 700   | 17,6                           | 0,90                   | 4,0                               | 230  | 60   | 297  | 1243    |
| Мазут                            | 0                         | –   | 36,0                           | 0,85                   | 8,0                               | 22   | 56   | 286  | 1197    |
| Каменный уголь                   | 0                         | –   | 24,0                           | 0,75                   | 2,0                               | 83   | 60   | 163  | 682     |

\* Стоимость 1 м<sup>3</sup> топлива в рублях.

Результаты расчетов удельной себестоимости производства теплоты, полученной в котельных на различном древесном топливе, выполненные по формуле (5), приведены в таблице, для сравнения там же приведены показатели котельных, сжигающих самое дорогое и самое дешевое из минеральных топлив – соответственно мазут и каменный уголь.

Древесная щепа и каменный уголь гарантируют одинаково низкую себестоимость теплоты (579 и 682 р./Гкал), древесные гранулы и мазут – одинаково высокую (1243 и 1197 р./Гкал). Отходы лесопиления являются «чемпионом», так как обеспечивают минимум себестоимости теплоты (356 р./Гкал) при сжигании их в местах образования.

Таким образом, с экономической точки зрения самым выгодным древесным топливом для районных котельных является щепа местных лесозаготовительных предприятий, которая обеспечит производителю тепла максимальную прибыль при фиксированном региональном тарифе.

Этот вывод подтверждает опыт использования древесного топлива в Финляндии, которая является мировым лидером в области заготовки и переработки древесины [1].

В 2009 г. финский ЛПК использовал 44 Мм<sup>3</sup> отечественной и 5 Мм<sup>3</sup> импортной древесины. В лесах Финляндии образуется 20,0 Мм<sup>3</sup> древесных отходов (пни, лесосечные отходы, рубки ухода), из которых 4,6 Мм<sup>3</sup> – щепа, 1 Мм<sup>3</sup> – дрова. Использованные в 2009 г. 22 Мм<sup>3</sup> древесного топлива имели следующий состав, Мм<sup>3</sup>: кора – 7,0; дрова – 6,0; щепа – 4,6; опилки – 3,4; пеллеты – 1 (5 %). Низкая доля применения дорогого облагороженного древесного топлива (пеллет) объясняется широким развитием сельской коммунальной энергетики и стремлением извлечения прибыли при производстве тепловой энергии за счет низкой себестоимости древесного топлива из отходов на широком гарантированном рынке внутреннего потребления теплоты.

Рациональная политика в области малой сельской энергетики заключается в широком использовании местного древесного топлива, обеспечиваю-

щего производство дешевой энергии для коммунальных и промышленных потребителей:

использование древесных отходов лесопиления в производственных котельных и мини-ТЭЦ лесопильных заводов;

широкое применение древесной щепы в отопительно-коммунальных котельных поселков, расположенных в местах заготовки леса;

для освоения всего потенциала зеленой энергии развитие экспортного производство древесных гранул, древесного угля, энергохимической переработки щепы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов Ю.Ю. Анализ энергии древесины, заготовленной и поставленной в Финляндию: материалы Междунар. лесного форума, 6–8 апр. 2011 г. Архангельск. С. 8–12.
2. Поморская энциклопедия. Т. 3. Экономика Архангельской области. Архангельск, 2006. 636 с.
3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. М.: Изд-во МЭИ, 2006. 380 с.

Поступила 02.11.12

#### **Choice of Wood Fuel for Small-Scale Power Generation**

*A.E. Piir, Doctor of Engineering, Professor*

*V.I. Melekhov, Doctor of Engineering, Professor*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, 163002, Arkhangelsk, Russia  
Tel.: +79115686819

*V.B. Kuntysh, Doctor of Engineering, Professor*

Belarusian State Technological University, Sverdlova, 13a, 220006 Minsk, Belarus  
Tel.: +7 (375-17) 226-46-12

Arkhangelsk Region – the coldest inhabited area in Europe – is lacking mineral fuel reserves. Power consumption higher than the average and high prices for heat and electricity make any production unprofitable and uncompetitive, leading to decline in traditional industries and outflow of population.

Our calculations showed that the region has vast reserves of renewable biofuel able to satisfy half of the demand for imported energy resources: coal, fuel oil, and gas.

Consumer properties of different wood fuels vary greatly in price and quality. Therefore, their effective use requires a clear regional policy, as is the case with our neighbours in Finland and Sweden, who have managed to make them equally attractive to both investors and consumers.

The paper presents the methodology and calculated cost price for heat production in boiler-houses using various local wood fuels. In addition, it compares the performance of

boiler-houses using the most expensive and the cheapest imported mineral fuels: fuel oil and coal.

Wood chips and coal guarantee equally low cost price for heat (579 and 682 roubles per Gcal), while wood pellets and oil – equally high cost price of 1,243 and 1,197 roubles per Gcal respectively. Lumber waste (chips and bark) provide a minimum cost price of 356 roubles per Gcal when burnt in the locality.

Thus, a rational policy of small-scale power generation includes the following:

1. use of lumber waste in industrial boiler-houses and mini-CHPs at saw mills;
2. extensive use of wood chips in boiler-houses of the settlements located in logging areas;
3. in order to develop the full potential of renewable "green" energy we need to establish export production of wood pellets and charcoal, as well as energy and chemical processing of wood waste.

*Keywords:* wood fuel, cost price of heat, public energy service, biomass resources.

#### REFERENCES

1. Gerasimov Yu.Yu. Analiz energii drevesiny, zagotovlennoy i postavlennoy v Finlyandiyu [Analysis of Energy of Wood Harvested and Delivered to Finland]. *Proc. International Forest Forum*, Arkhangelsk, 6–8 April 2011. pp. 8–12.
  2. *Pomorskaya Entsiklopediya. T. 3. Ekonomika Arkhangel'skoy oblasti* [Pomor Encyclopaedia. Vol. 3. Economy of the Arkhangelsk Region]. 2006. 636 p.
  3. Sokolov E.Ya. *Teplofikatsiya i teplovye seti* [Installation of Heating Systems]. Moscow, 2006. 380 p.
-