

УДК 620.92

EDN [YPESWI](#)



## Оценка снижения удельных выбросов CO<sub>2</sub> при переводе с централизованного электроснабжения на автономную энергоустановку на древесном топливе

**П.Н. Анисимов**

Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, 3,  
Йошкар-Ола, 424000, Россия

E-mail: [anisimovpn@list.ru](mailto:anisimovpn@list.ru)

**Аннотация.** Дана оценка возможного снижения удельных выбросов CO<sub>2</sub> при переводе с разных источников централизованного электроснабжения на автономную энергоустановку на древесном топливе. При производстве электрической энергии при помощи мини-ТЭЦ на древесном топливе выбросы диоксида углерода равны в среднем 52 г/кВт·ч. При определении данного значения учитываются выбросы CO<sub>2</sub> только на моторное топливо, необходимое для транспорта древесного топлива до ТЭЦ, а само древесное топливо считается углерод-нейтральным. Установлено, что при переводе электроснабжения с дизельной мини-ТЭЦ на мини-ТЭЦ на древесном топливе, считая древесину и древесные отходы углерод-нейтральным топливом, снижение удельных выбросов CO<sub>2</sub> может достигать 917 г/кВт·ч. На изолированных труднодоступных территориях России снижение выбросов в этом случае может достигать 1070 г/кВт·ч. По сравнению со средним значением удельных выбросов в единой энергосистеме России снижение составит 306 г/кВт·ч. Однако если древесину не считать углерод нейтральным топливом, то снижение выбросов CO<sub>2</sub> наблюдается только по сравнению с электростанциями на торфе.

**Ключевые слова:** древесное топливо, выбросы углекислого газа, электроснабжение.

## Analysis of the economic effect of increasing the reliability of information systems of digital agricultural enterprises

**P.N. Anisimov**

Volga State University of Technology, 3 Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russia

E-mail: [anisimovpn@list.ru](mailto:anisimovpn@list.ru)

**Abstract.** This paper proposes an assessment of the possible reduction in specific CO<sub>2</sub> emissions when transferring from various sources of centralized power supply to an autonomous wood-fuelled power plant. In the production of electricity using wood-fired mini-CHPs, carbon dioxide emissions are on average 52 g/kWh. When determining this value, CO<sub>2</sub> emissions are taken into account only for the motor fuel required for the transport of wood fuel to the CHP, and the wood fuel itself is considered carbon-neutral. It has been established that when the power supply is transferred from a diesel mini-CHP to a wood-fired mini-CHP, considering wood and wood waste as carbon-neutral fuel, the reduction in specific CO<sub>2</sub> emissions can reach 917 g/kWh. In isolated hard-to-reach areas of Russia, the reduction in emissions in this case can reach 1070 g/kWh. Compared to the average value of specific emissions in the unified energy system of Russia, the reduction will be 306 g/kWh. However, if wood is not considered a carbon neutral fuel, then the reduction in CO<sub>2</sub> emissions is only observed in comparison with peat-fired power plants.

**Keywords:** wood fuel, carbon dioxide emissions, electricity supply.

## 1. Введение

В настоящее время наблюдается тенденция к ужесточению экологических требований к производственным процессам во всем мире и России, в частности. Последнее время помимо прочих загрязняющих веществ уделяется больше внимания выбросам парниковых газов. Одним из показателей безопасности продукции с точки зрения влияния на климат является величина удельных выбросов CO<sub>2</sub> на единицу готовой продукции. Данный показатель призван характеризовать весь технологический процесс производства какой-либо продукции, то есть её углеродемкость. Энергоемкость и углеродемкость производства продукции непосредственно связаны друг с другом. В текущих условиях для энергоемкой продукции одним из основных критериев выбора источника энергии становится не только его стоимость, но и углеродемкость потребляемой электрической и тепловой энергии.

Среди прочих отраслей в лесном комплексе и сельском хозяйстве имеется высокий потенциал снижения углеродемкости продукции при переводе энергоустановок с традиционного углеводородного топлива на древесные и другие растительные отходы, поскольку древесное топливо считается углероднейтральным [1, 2]. В связи с этим актуальным являются вопросы обоснования, разработки и внедрения технологий автономного производства электрической энергии при использовании древесного [3] и другого растительного топлива.

## 2. Цель исследования

Целью данного исследования является определение возможного снижения удельных выбросов CO<sub>2</sub> на выработку единицы электроэнергии при переводе с централизованного электроснабжения на автономную энергоустановку на древесном топливе.

## 3. Методы и материалы исследования

Для достижения цели исследования проведен анализ выбросов углекислого газа в атмосферу разных источников электрической энергии, централизованных и автономных. Каждый из рассмотренных источников используется в настоящее время или может получить распространение для обеспечения функционирования технологических машин и оборудования в лесном комплексе.

Удельные выбросы углекислого газа  $Em_{CO_2}$  в граммах на 1 кВт·ч при выработке электрической энергии на тепловой электростанции можно определить по формуле:

$$Em_{CO_2} = \frac{(em_{CO_2} + em_{CO_2}(tf) \cdot \beta_{tf}) \cdot b_e}{k \cdot \eta_{te}},$$

где  $em_{CO_2}$  – удельные выбросы  $CO_2$  при сжигании единицы массы топлива, г/г;  $b_e$  – удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии, г у.т./кВт·ч;  $k$  – коэффициент пересчета условного топлива в натуральное, г у.т./г;  $\eta_{te}$  – КПД передачи электроэнергии от источника к потребителю;  $em_{CO_2}(tf)$  – удельные выбросы  $CO_2$  при сжигании единицы массы топлива, затраченного на транспортировку основного энергетического топлива до электростанции, г/г;  $\beta_{tf}$  – удельный расход моторного топлива на транспортировку топлива до электростанции, г/г.

Данная формула учитывает расходы топлива на транспорт энергетического топлива, но не учитывает весь жизненный цикл электростанции и топлива, то есть количество углекислого газа, выброшенное в процессе строительства и утилизации электростанции, затраты на добычу и производство топлива. Однако данная формула подходит для приблизительного оценочного сравнения выбросов  $CO_2$  при потреблении энергии от разных источников энергии, работающих на разных видах топлива.

#### 4. Полученные результаты

В таблице представлены результаты расчета усредненных удельных выбросов  $CO_2$  на 1 кВт·ч электроэнергии, поступающей потребителю от разных источников. Данные о фактических удельных расходах условного топлива на отпущенную в сеть электроэнергию  $b_e$  получены из утвержденных схем теплоснабжения, официальных аналитических документов энергогенерирующих компаний, министерства энергетики и системного оператора ЕЭС России [4, 5].

При присоединении к централизованной системе энергоснабжения трудно точно определить от какого именно источника приходит энергия вследствие возможного изменения потоков мощности в единой энергосистеме. Поэтому таблица 1 содержит результаты оценочных расчетов углеродоемкости электрической энергии в единой сети

от наиболее крупных источников разных типов на основных видах топлива. Подавляющее большинство электрической энергии в стране производится именно на приведенных электростанциях. Полученные данные хорошо согласуются с официальной аналитикой [4].

**Таблица 1.** Удельные выбросы углекислого газа при выработке электроэнергии.

| Тип источника электроэнергии  | $Em_{CO_2}$ , г/кВт·ч |
|---|-----------------------|
| Угольные ТЭС (каменный уголь)   | 1222                  |
| Угольные ТЭС (бурый уголь)  | 1282                  |
| Паросиловая ТЭС на природном газе   | 405                   |
| Парогазовая ТЭС на природном газе   | 282                   |
| ТЭЦ МЦБК на черном щелоке, энергия на собственные нужды   | 1200                  |
| ТЭЦ МЦБК на черном щелоке, отпуск электроэнергии<br>внешним потребителям [6]  | 3021                  |
| ТЭЦ на кородревесных отходах  | 2481                  |
| ТЭЦ на кородревесных отходах и черном щелоке, считая<br>древесные отходы деревообрабатывающего производства<br>углерод-нейтральным [1, 2] топливом <sup>a</sup> | 20                    |
| В среднем по ТЭС ЕЭС России [4]   | 492                   |
| В среднем по ЕЭС России [4]   | 358                   |
| В среднем на изолированных труднодоступных территориях [5]  | 1122                  |
| Газопоршневые мини-ТЭЦ  | 494                   |
| Дизельные мини-ТЭЦ  | 969                   |
| Мини-ТЭЦ на торфе   | 3279                  |
| Мини-ТЭЦ на древесном топливе   | 2544                  |
| Мини-ТЭЦ на древесном топливе, считая древесину углерод-<br>нейтральным топливом <sup>a</sup>   | 52                    |

<sup>a</sup> учитываются выбросы CO<sub>2</sub> только на моторное топливо, необходимое для транспорта древесного топлива до ТЭЦ.

В единой энергосистеме электрическая энергия вырабатывается не только на тепловых электростанциях, также велика доля атомных и гидроэлектростанций. Они

значительно снижают углеродоемкость одного киловатт-часа, поэтому в таблице 1 представлено и среднее по стране значение выбросов углерода на единицу потребленной электроэнергии.

Помимо электроэнергии от гидроэлектростанций и атомных электростанций меньше всего углекислого газа попадает в атмосферу при выработке электроэнергии на парогазовых и паросиловых электростанциях на природном газе. Что касается автономного электроснабжения, то предпочтительна установка газопоршневой мини-ТЭЦ по сравнению с дизельной.

Анализируя данные таблицы можно сделать выводы, что в энергорайонах, где преобладают электростанции на природном газе или ГЭС и АЭС подключение производственных объектов лесного комплекса к централизованной сети является предпочтительным по сравнению с любыми автономными источниками на невозобновляемом топливе. Несколько другая ситуация на изолированных труднодоступных территориях (ИТТ), где основным топливом централизованных источников является дизельное топливо и, следовательно, высокий уровень углеродоемкости электроэнергии. Примечательно, что все регионы, обладающие наибольшими запасами древесины, располагаются именно в ИТТ, это Красноярский край, Республика Саха (Якутия), Иркутская область, Хабаровский край, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра.

## 5. Выводы

Результаты расчета удельных выбросов  $\text{CO}_2$  на единицу потребляемой электроэнергии могут быть использованы для оценки углеродоемкости продукции, а также обоснования выбора того или иного источника энергии для предприятия лесного комплекса. Из таблицы 1 видно, что предпочтительными являются ТЭЦ и мини-ТЭЦ на древесных отходах. Поскольку древесное топливо является углерод-нейтральным, то при определении выбросов углекислого газа на 1 кВт·ч электроэнергии от такого источника следует учитывать только выбросы при использовании традиционного моторного топлива, затраченного на производство и транспорт древесного топлива. В этом случае, при производстве электроэнергии на основе древесных отходов в атмосферу выбрасывается меньше  $\text{CO}_2$ , чем при самом лучшем в этом смысле источнике энергии – парогазовой электрической станции на природном газе.

В настоящее время традиционное моторное топливо, в основном дизельное, применяется на всех этапах, начиная от посадки, ухода за лесом, его заготовки, сортировки и транспорта, до перемещения лесоматериалов на производственной площадке. Для достижения максимальной углерод-нейтральности древесного топлива и другой продукции лесной промышленности необходимо применять технологическое оборудование, лесохозяйственных и лесопромышленных процессов, имеющее энергообеспечение также на основе биомассы.

При переводе электроснабжения с дизельной мини-ТЭЦ на мини-ТЭЦ на древесном топливе, считая древесину углерод-нейтральным топливом, снижение удельных выбросов CO<sub>2</sub> может достигать 917 г/кВт·ч.

### Список литературы

1. Sedjo, R.A. An investigation of the carbon neutrality of wood bioenergy / R.A. Sedjo, X. Tian // *Journal of Environmental Protection*. – 2012. – Т. 3. – №. 9. – С. 989.
2. Grainger, A. The role of low carbon and high carbon materials in carbon neutrality science and carbon economics / A. Grainger, G. Smith // *Current Opinion in Environmental Sustainability*. – 2021. – Т. 49. – С. 164-189.
3. Анисимов, П.Н. Технологические схемы автономных мобильных энергетических установок для энергообеспечения оборудования в условиях лесосеки и лесного терминала // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2021. – № 4. – С. 10-16.
4. Углеродоемкость электроэнергии в мире и России. Энергетический бюллетень №72. Май 2019. Аналитический центр при правительстве Российской Федерации. Доступно по: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/22245.pdf>.
5. Объекты генерации в изолированных и труднодоступных территориях в России. Аналитический доклад. Март 2020. Аналитический центр при правительстве Российской Федерации. Доступно по: [https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/analitika/генерации\\_в\\_ИТТ.pdf](https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/analitika/генерации_в_ИТТ.pdf).
6. Григорай, О.Б. Переработка черных щелоков сульфатного производства / О.Б. Григорай, Ю.С. Иванов, А.А. Комиссаренков, А.С. Смолин. – СПб.: СПбГТУРП, 2012. – 106 с.