

---

УДК 620.98

Г.И. Исмагилова, студент (ПГТУ)  
Научный руководитель П.Н. Анисимов, к.т.н., доцент (ПГТУ)  
г. Йошкар-Ола

### **ОБОСНОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

Вопросам глубокой переработки древесины и увеличению полноты использования древесных ресурсов посвящено много исследований. Несмотря на это за последние десятилетия в России нет значительных улучшений в данном направлении в силу разных причин. Объем использования древесных отходов остается незначительным. Одной из главных причин называется не достаточная интенсивность внедрения наукоемких передовых технологий в данной области [1].

Основным направлением вовлечения низкокачественной древесины, лесосечных отходов и отходов деревообработки во всем мире признано использование в качестве топлива. Основной объем топливной древесины в нашей стране сейчас используется в виде дров в частных хозяйствах [2]. Среди деревообрабатывающих производств только целлюлозно бумажные предприятия [2] производят большое количество энергии сжигая отходы производства в энергетических установках цикла Ренкина с водяным паром. Большинство деревообрабатывающих предприятий используют только малую долю производимых отходов, в основном в виде кусковых отходов для теплоснабжения своих помещений. Электрическая энергия такими предприятиями либо покупается из централизованной системы, либо вырабатывается на собственных газопоршневых установках на природном газе. Причина этому отсутствие на внутреннем рынке коммерческих предложений энергетических установок, производящих электроэнергию при сжигании древесины. Установки зарубежного производства имеют высокую стоимость и покупка их оказывается нецелесообразной.

Тем временем во многих регионах страны потребность в источниках электрической и тепловой энергии малой мощности на древесном топливе на внутреннем рынке имеется в следствие высокой стоимости электрической энергии и традиционного моторного топлива. Учитывая низкую экономическую доступность больших запасов древесины в некоторых районах нашей страны из-за высокой стоимости моторных и печных топлив востребованной, является технология автономного энергообеспечения

---

производств лесной отрасли. Однако установки для автономного энергообеспечения лесохозяйственных и лесосечных работ с помощью древесного топлива сейчас отсутствуют.

Направление энергетических установок малой мощности на биомассе сейчас активно развивается. Основные достижения в данной области имеют страны Европы, Северной Америки и Азии. Основными конкурирующими технологиями являются: классический цикл Ренкина на водяном паре при сжигании древесного топлива в котле; паровые поршневые и винтовые силовые установки [3]; органический цикл Ренкина со сжиганием древесного топлива в термомасляном котле [4-6]; установка с паровым котлом и комбинированным циклом Ренкина на водяном паре и органическим циклом Ренкина [7, 8]; термическая газификация биомассы с последующей глубокой очисткой генераторного газа и сжиганием его в поршневом двигателе внутреннего сгорания, либо в камере сгорания газовой турбины малой мощности, а также сжигание горячего генераторного газа в нагревателе двигателя Стирлинга [9, 10]. Преимущественная область применения данных установок стационарные источники электрической и тепловой энергии.

Технические решения мобильных энергетических установок на древесном топливе для сложных природных условий эксплуатации практически отсутствуют. В данной области перспективны газовые турбины замкнутого цикла с воздухом или инертным газом в качестве рабочего тела и воздушным охлаждением. Направление использования мини и микро газовых турбин в автономных источниках энергии также активно развивается и представлено в основном разработками турбин открытого цикла. Использование закрытого цикла позволяет использовать прямое сжигание твердого топлива, что упрощает процесс сжигания и увеличивает эффективность по сравнению с газификацией. Сейчас газовые турбины закрытого цикла применяются на судовых двигателях. Известны технологические схемы газовых турбин с горячим воздухом в качестве рабочего тела [11], однако конструктивные решения данных установок не проработаны. Необходимо разработать нагреватель рабочего тела газовой турбины закрытого цикла на древесном топливе.

Предлагаемое научное исследование является логическим продолжением исследований, проводимых кафедрой энергообеспечения предприятий ФГБОУ ВО «ПГТУ» направленных на реализацию концепции автономного энергообеспечения производств в лесной отрасли, начиная с санитарных рубок, рубок ухода, рубок главного пользования, лесопильных производств и заканчивая производством конечного продукта из древесины [12]. Технологические машины и оборудование предлагается оборудовать электрическим приводом, а электрическую энергию для них производить с помощью энергетической установки малой мощности при сжигании древесного топлива

[13]. В рамках этой концепции автором была разработана система машин для производства топливной щепы, которая включает в себя энергетический модуль на топливной щепе и технологическую мобильную рубильную машину.

На данном этапе исследования необходимо разработать и исследовать мобильную энергетическую установку на основе газовых турбин закрытого цикла, которая позволит вырабатывать электрическую энергию при сжигании древесного топлива в условиях окружающей среды.

Расчетный объем порубочных остатков, которые можно использовать без ущерба окружающей среде, при текущем уровне объема лесозаготовок в России составляет 55,5 млн м<sup>3</sup> в год [14]. Энергетический потенциал при этом приблизительно 30014 млн кВт\*ч/год тепловой энергии (по низшей теплоте сгорания). Теоретические суммарные затраты на лесовосстановление при поддержании текущего запаса древесины [15, 16] составляют в среднем 1,6 млн кВт\*ч/год. По известным экспериментальным и расчетным данным [17, 18] энергоемкость процессов выработки пиломатериалов и щепы на погрузочном пункте составляет 3,5 кВт\*ч /м<sup>3</sup>, что составляет 826 млн кВт\*ч/год или 2,8% от энергетического потенциала порубочных остатков.

Таким образом, энергетические затраты на производство пиломатериалов и щепы могут быть полностью обеспечены энергетическим потенциалом порубочных остатков. В том случае, если система автономного энергообеспечения процессов заготовки древесины будет иметь КПД 10% (то есть 10 % тепловой энергии сгорания порубочных остатков будет преобразовано в полезную работу механизмов), то для производства пиломатериалов и щепы на погрузочном пункте нам потребуется использовать 9,3% объема порубочных остатков. Оставшиеся 90,7% порубочных остатков могут быть превращены в топливную щепу.

В данном примере расход древесного топлива на энергообеспечение заготовки древесины составляет 2,2%.

Даже в том случае, если полный КПД системы энергообеспечения заготовки древесины лесозаготовки будет составлять всего 5%, на собственные нужды будет затрачено около 4,5 % обрабатываемых древесных ресурсов. При этом отсутствие потребления моторного топлива позволит сэкономить около 55 руб/м<sup>3</sup> в транспортно доступном районе (без учета доставки топлива). Таким образом, разработка устройств, обеспечивающих самоэнергообеспечение процессов заготовки и переработки древесины является перспективным направлением.

Выполнение исследований по заявленной теме способствует решению задач, обозначенных в Энергетической стратегии России на период до 2030: ресурсосбережения, повышения экологичности энергетических установок и

систем, ускоренного развития использования возобновляемых источников энергии. Планируемые результаты научного исследования способствуют развитию технологий использования возобновляемых источников энергии, а также вовлечению в энергетический баланс местных видов топлива и полезному использованию древесной биомассы. Наибольший положительный социально экономический эффект будет наблюдаться в районах, не подключенных к сетям централизованного энергоснабжения.

Список литературы:

1. Глубокая переработка древесины как элемент комплексного использования сырья [Текст] / Т. Г. Рябова, А. С. Негодина, С. О. Медведев, Ю. Ю. Логинов // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения. Сборник материалов по итогам Всероссийской научно-практической конференции. 2017. С. 593-596.
2. Древесина как источник энергии в регионе ЕЭК ООН: данные, тенденции и перспективы в Европе, Содружестве Независимых Государств и Северной Америке. Организация Объединенных Наций, 2018 // [Электронный ресурс] URL: <https://www.un-ilibrary.org/agriculture-rural-development-and-forestry/b5d86ae4-ru>
3. Оптимизационные исследования энергогенерирующих установок на древесной биомассе, реализующих органический цикл Ренкина [Текст] / А. М. Клер, А. Ю. Маринченко, Ю. М. Потанина, П. В. Жарков // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2019. № 6. С. 110-120.
4. Моделирование теплофикационных установок на органическом цикле Ренкина со сжиганием древесной биомассы [Текст] / А. М. Клер, А. Ю. Маринченко // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2019. С. 246-251.
5. Математическая модель функционирования измельчающе-транспортной машины для производства топливной щепы на лесосеке с энергообеспечением от газогенераторного двигателя Стирлинга [Текст] / Е. М. Онучин, П. Н. Анисимов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. № 221. С. 258-270.
6. Применение двигателей Стирлинга на древесном топливе в лесной промышленности [Текст] / Е. М. Онучин, П. Н. Анисимов // 2018. 196 с.
7. Новые паровые машины. Взгляд из России [Текст] / В.А. Жигалов. // Оригинальные исследования (ОРИС). 2018. № 7. С. 152-166.

- 
8. Guercio, R. Bini, 15 - Biomass-fired Organic Rankine Cycle combined heat and power systems [Текст] / Editor(s): Ennio Macchi, Marco Astolfi // Organic Rankine Cycle (ORC) Power Systems, Woodhead Publishing, 2017, Pages 527-567.
  9. Integrating biomass gasification with a steam-injected micro gas turbine and an Organic Rankine Cycle unit for combined heat and power production [Текст] / Ramin Moradi, Vera Marcantonio, Luca Cioccolanti, Enrico Bocci // Energy Conversion and Management, Volume 205, 2020, 112464.
  10. Thermodynamic analysis and optimization of a novel organic Rankine cycle-based micro-scale cogeneration system using biomass fuel [Текст] / Qi Wang, Weifeng Wu, Zhilong He // Energy Conversion and Management, Volume 198, 2019, 111803.
  11. Твёрдотопливная газотурбинная установка [Текст] / А. В. Алфимов, А. Н. Князев, В. С. Ломазов, Ю. Б. Назаренко // Патент на изобретение RU 2545113 С2, 27.03.2015. Заявка № 2013118727/06 от 24.04.2013.
  12. Обоснование параметров конструкции и режима работы машины для заготовки щепы на лесосеке [Текст] / П. Н. Анисимов // Обоснование параметров конструкции и режима работы машины для заготовки щепы на лесосеке. 2017. - 18 с.
  13. Development of an autonomous energy supply system for harvesting wood resources based on wood fuel [Текст] / P. N. Aniaimov, A. A. Medyakov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2019. С. 52058.
  14. Потенциал не востребуемых ресурсов древесного сырья для биоэнергетики [Текст] / В.П. Корпачев, А. И. Пережилин, А. А. Андрияс, Е. А. Владыкин, А. И. Суховеев // Хвойные бореальной зоны. 2019. Т. 37. № 5. С. 295-300.
  15. Использование лесных ресурсов в России [Текст] / В. П. Корпачев, А. И. Пережилин, А. А. Андрияс // Хвойные бореальной зоны. 2016. Т. 34. № 1-2. С. 56-60.
  16. Влияние изменений атмосферы и климата на энергетический потенциал лесов России [Текст] / В. В. Клименко, А. Г. Терешин, О. В. Микушина // Доклады Академии наук. 2019. Т. 488. № 6. С. 612-618.
  17. Расчет удельных энергозатрат для технологий лесосечных работ с углубленной переработкой древесины [Текст] / М. В. Коломинава. // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 1 (45). С. 91-97.
  18. Анализ потребности технологических систем производства древесного топлива из неделовой древесины и древесных отходов в энергоресурсах [Текст] / П. Н. Анисимов // Инженерный вестник Дона. 2018. № 3 (50). С. 84.

Информация об авторах:

Исмагилова Гульназ Ильсуровна, студент гр. ТТ-21, ПГТУ, 424000,  
г. Йошкар-Ола, площадь Ленина, д. 3, [gulnazismagilova75@gmail.com](mailto:gulnazismagilova75@gmail.com)

Анисимов Павел Николаевич, к.т.н., доцент, ПГТУ, 424000, г. Йош-  
кар-Ола, площадь Ленина, д. 3, [anisimovpn@volgatech.net](mailto:anisimovpn@volgatech.net)