

УДК 630.31

**ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
НА МОБИЛЬНЫХ ЛИНИЯХ ЛЕСНЫХ ТЕРМИНАЛОВ****Куницкая Ольга Анатольевна***Арктический государственный агротехнологический университет, г. Якутск, Россия  
ola.ola07@mail.ru***Помигуев Александр Владимирович***Филиал Военного учебно-научного центра «Военно-воздушная академия имени  
профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» в г. Сызрани, Россия*

**Аннотация.** Большое расстояние вывозки заготовленной древесины в Сибири и на Дальнем Востоке приводит к развитию технологий переработки на мобильных линиях, которая позволяет увеличить коэффициент полндревесности ввоза и снизить транспортные расходы.

**Ключевые слова:** лесозаготовки, лесные терминалы, мобильные линии, лесопиление, биотопливо, энергоснабжение.

**WOOD PROCESSING ON MOBILE LINES OF FOREST TERMINALS****Kunickaya Ol'ga Anatol'evna***Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia, ola.ola07@mail.ru***Pomiguev Aleksandr Vladimirovich***Branch of the Military Educational and Scientific Center «Air Force Academy named after  
Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin» in Syzran, Russia*

**Abstract.** The long distance of harvested wood in Siberia and the Far East leads to the development of mobile-line processing technologies, which increase the rate of wood-sufficiency and reduce transport costs.

**Keywords:** timber harvesting, wood terminals, mobile lines, sawing, biofuels, power supply.

**Введение.** Постоянный рост среднего расстояния вывозки заготовленной древесины отмечают все лесопромышленные компании России. Особенно сложная ситуация с данным вопросом складывается в Сибири и на Дальнем Востоке.

Объемы заготовки растут, транспортно-доступные спелые и перестойные эксплуатационные леса истощаются, лесные плантации в России не создаются. Все заставляет постоянно расширять транспортную сеть, и, в результате, приводит к росту себестоимости заготовленной древесины, постепенно подводя ее к категории низкотоварной – когда себестоимость заготовки и вывозки древесины достигает и превышает ее отпускную рыночную стоимость.

Для снижения транспортной составляющей себестоимости заготовленной древесины в Сибири и на Дальнем Востоке все активнее используются технологии переработки древесины на мобильных линиях лесных терминалов (непостоянных лесопромышленных складов). Это позволяет увеличить коэффициент полндревесности ваза автолесовозов, оптимизировать логистику доставки получаемой готовой продукции и полуфабрикатов до потребителя, минуя лишние перевалочные пункты [1].

**Материалы и методы исследования.** Материалы данной статьи получены путем анализа данных о современных мобильных линиях лесных терминалов, и способах их энергоснабжения. Значительная часть данных для анализа получена от участников научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета.

**Результаты.** В качестве готовой продукции мобильных линий лесных терминалов могут быть получены пиломатериалы, биотопливо, а также ряд других продуктов глубокой переработки древесины и ассимиляционного аппарата деревьев.

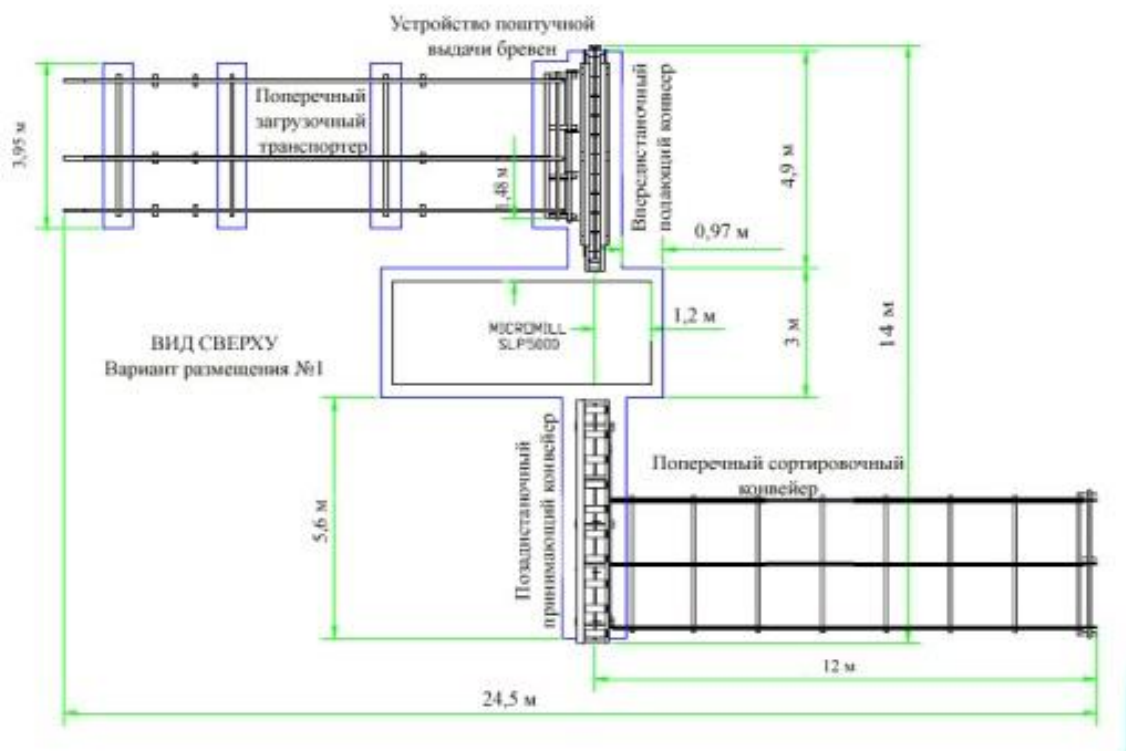
Одним из вариантов современной мобильной лесопильной линии является линия «Micromill», которая требует бригаду всего из трех человек – оператор пиления, оператор погрузчика и один человек на сортировке. Общий вид развернутой в рабочее положение линии представлен на рисунке 1.



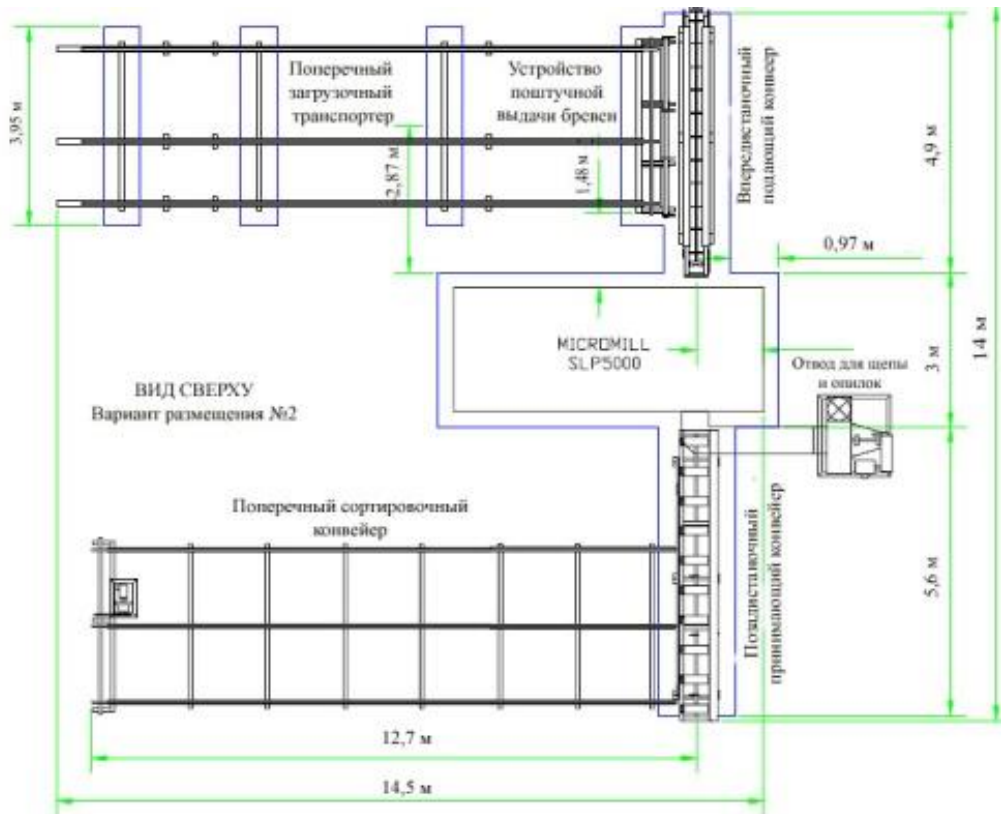
**Рис. 1.** Лесопильная линия «Micromill» в рабочем положении

Планировка производства очень компактная, оно может быть размещено на участке 14x25 м. Схемы размещения оборудования представлены на рисунках 2 и 3.

При доставке оборудования к месту развертывания (лесной терминал), оборудование помещается в два стандартных морских контейнера - 8'x8½'x20': один - для размещения лесопильной установки (вес груза около 10 тонн), другой - для системы автоматики дополнительного оснащения и аксессуаров.



**Рис. 2.** Лесопильная линия «Micromill» - первая схема размещения оборудования



**Рис. 3.** Лесопильная линия «Micromill» - вторая схема размещения оборудования

Сборка и разборка линии очень простая, что позволяет осуществлять ее переустановку за минимальное время. Линия поставляется полностью в собранном виде (за исключением стола подачи бревен и линии сортировки). Установка занимает около двух дней.

Управление производственным процессом осуществляется одним человеком с помощью пульта, обладающего простым и понятным интерфейсом.

Максимальный диаметр перерабатываемых сортиментов на линии составляет 340 мм, минимальный - 100 мм.

С помощью погрузчика предварительно отсортированные бревна попадают на загрузочный транспортер, а затем, поштучно, на подающий конвейер. Уровневый контроль осуществляется автоматически, посредством лучевых сенсоров. Затем бревна по одному подаются непосредственно в пильный блок.

Набор из восьми 100 мм прочных ножей и четырех круглых пил позволяет с высокой точностью производить распиловку хорошего качества.

Используемые Micromill технологии очень упрощают обслуживание оборудования. Например, полная замена ножей занимает 15 мин., а с дополнительной системой заточки, весь набор из восьми ножей может быть заточен за 20 мин.

На выходе из пильного блока получают готовую продукцию в виде обрезной доски или бруса с высокой точностью размеров и качественной поверхностью.

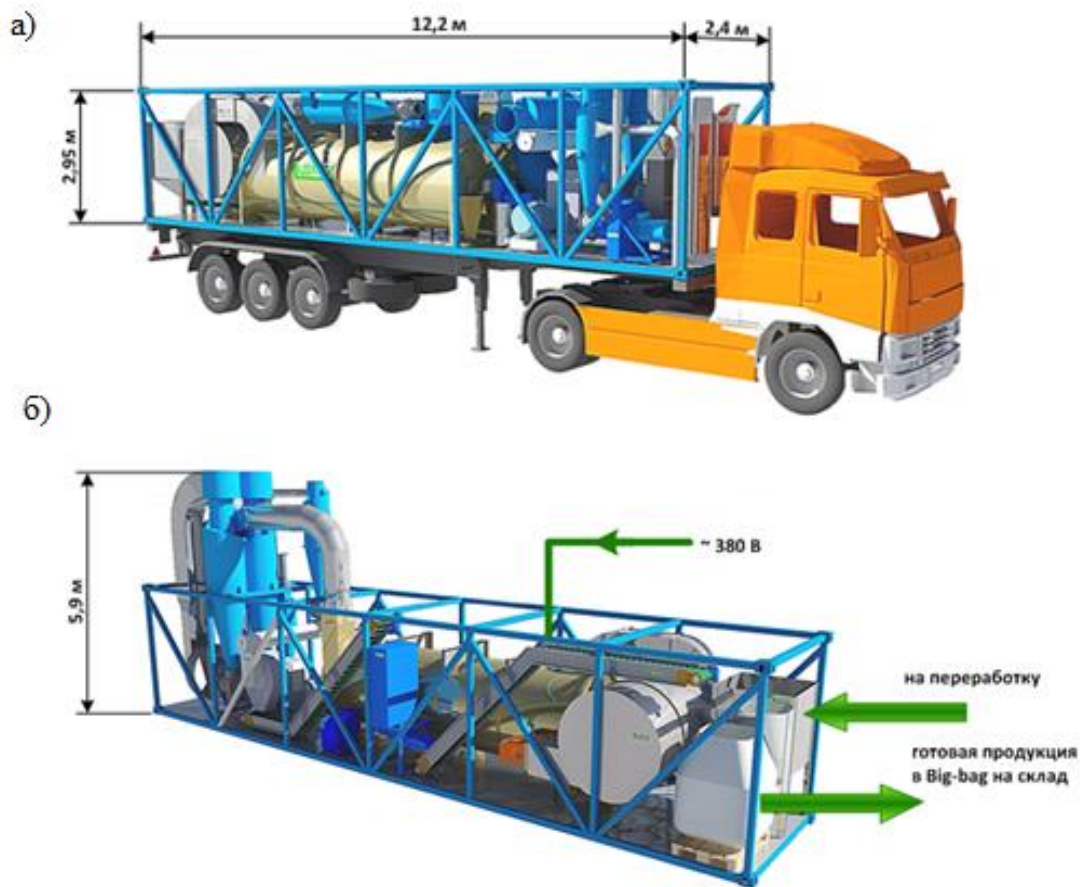
Мобильная лесопильная линия «Micromill» включает загрузочный транспортер, длиной 12 м, включающий систему управления скоростью с центрального пульта, гидропривод транспортных цепей; устройство поштучной выдачи бревен, с системой управления с центрального пульта, и гидроприводом; подающий конвейер, длиной 4,9 м, имеющий упрочненные приводные ролики стола, систему управления скоростью с центрального пульта, гидропривод, контрольную аппаратуру с сенсорными датчиками; собственно сам агрегат Micromill SLP5000D, с дизельным приводом Caterpillar C9 (300 л.с), с системой электронного управления, топливным баком, фрезерный агрегат, оснащен 4-мя ножевыми головками (по два ножа в каждой) и четырьмя пилами), пильный агрегат, оснащен пилами диаметром 300 мм, дающими толщину пропила до 4 мм; принимающий конвейер, длиной 5,7 м, с упрочненными приводными роликами стола, системой управления скоростью с центрального пульта, гидроприводом, контрольной аппаратурой с сенсорными датчиками, а также гидравлическое устройство сбрасывания на сортировочный конвейер; сортировочный конвейер трех лучевой, длиной 12 м., с системой управления скоростью с центрального пульта, гидроприводом тяговых цепей.

Есть также вариант линии с электроприводом в исполнении SLP 5000 E.

Основными преимуществами линии являются: удобная конструкция, позволяющая оператору легко приспосабливаться к различным размерам и типам сортиментов; высокое качество каждого составляющего элемента; при покупке линии Micromill, владельцу гарантируется долгосрочная поддержка запасными частями, обслуживанием, а также прямой доступ к новым разработкам и технологическим новинкам компании.

Если рассмотренная мобильная лесопильная линия «Micromill» является импортной разработкой, то мобильная пеллетная линия компании «ЛесИнТех» представляет собой высокоэффективную отечественную разработку.

Данная линия (рисунок 4) в транспортном положении по своим габаритам соответствует размерам 40-футового контейнера (модуль сушки), удлиненного 20-футового (модуль гранулирования), и 20-футового (модуль подготовки древесины). Оборудование модулей располагается на специально изготовленных силовых рамах, которые имеют специальные посадочные места для установки её на стандартные контейнеровозы, и необходимые строповочные элементы для проведения погрузочно-разгрузочных работ.



**Рис.4.** Мобильная пеллетная линия:  
а) в транспортном положении; б) в рабочем положении

Для установки линии на верхнем складе требуется ровная горизонтальная площадка с удельной несущей способностью –  $1000 \text{ кг/м}^2$ .

Фактически потребляемая мощность линии, при коэффициенте использования установленной мощности 0,7, составляет 250,0 кВт. Коэффициент использования может изменяться в зависимости от свойств исходного сырья (породный состав, входящая влажность, и т.д.).

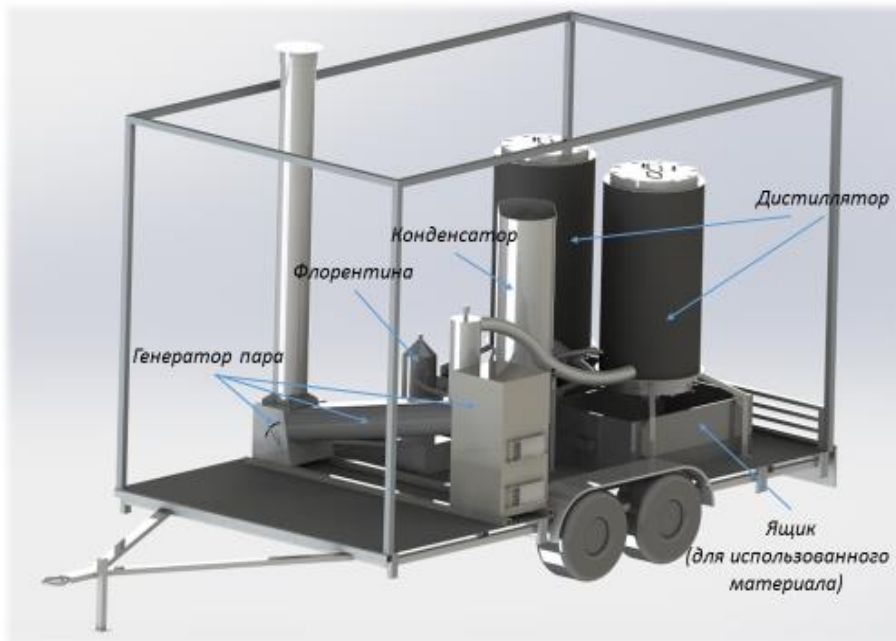
Количество обслуживающего персонала в смену составляет 3 человека.

Время подготовки линии к эксплуатации составляет не более 20 часов, которые складываются из: разгрузки линии и установке модулей линии, стыковке их между собой, установки циклонов и газоходов, находящихся в транспортном положении, в положение рабочее, подключения линии к сетям энергоснабжения.

Технология работы мобильной пеллетной линии подробно рассмотрена в [2].

Для переработки ассимиляционного аппарата хвойных деревьев латвийской компанией «ORVI» разработана передвижная установка для получения эфирных масел в условиях лесосеки, рисунок 5, состоит из генератора пара, двух

дистилляторов (ёмкости для ДЗ), конденсатора, флорентины и ящика для использованного материала. Установка работает с замкнутым циклом водопользования, флорентинная вода используется для производства пара, что снижает энергозатраты и повышает выход эфирных масел.



**Рис. 5.** Передвижная установка для производства эфирных масел

Технологические параметры оборудования рассчитаны для работы при температуре воздуха от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+20^{\circ}\text{C}$ .

Технология работы передвижной установки для производства эфирных масел подробно рассмотрена в [3].

Интересный вариант мобильного завода по переработке тонкомерной хвойной и лиственной древесины в пеллеты и древесные сахара сейчас разрабатывается в шведской компании «Glommen Technology AS». Предварительные результаты работ по данному проекту были рассмотрены на III Лесопромышленном форуме Республики Саха (Якутия) «Современные технологии: Качество. Конкурентоспособность. Эффективность», в мае 2021 г.

На наш взгляд, наиболее перспективным решением для повышения эффективности работы лесных терминалов является развитие модульных систем заготовки и переработки древесины и недревесной продукции леса, совмещенной с технологией баржево-лихтерной водной доставки готовой продукции с береговых складов, предложенной отечественными учеными проф. В.И. Пятакиным и проф. А.Ю. Мануковским [4].

Указанная технология комплексного лесопользования на базе модульных систем машин, вкуче с лихтерными перевозками лесопродукции, в последующем, позволит выйти на создание мобильных, лесозаготовительных предприятий сезонного или круглогодичного действия с лесопромышленными складами типа 4НС (по классификации принятой в СССР), но имеющими полный цикл переработки древесины и недревесной продукции леса, не нуждающихся в подводе электроэнергии.

Предложенная проф. В.И. Пятакиным и проф. А.Ю. Мануковским технология базировалась на следующих принципах. Совершенствование судовых перевозок следует проводить по направлению и адаптации лихтеров к речным условиям и использованию их как несамоходное судно, выполняющее роль транспорт-терминалов, позволяющих сделать более эффективными и технологичными судовые перевозки лесоматериалов и готовой продукции по внутренним магистральным речным путям и морям до отечественных и зарубежных потребителей. В межнавигационный период лихтеры могут находиться в пунктах отправки лесных грузов (береговых складах), оборудованных причалами и погрузочными средствами, оборудованием для производства готовой продукции. При этом лихтеры могут являться плавучими терминалами, а с первых дней навигации, загруженные готовой продукцией, могут буксироваться к пунктам грузополучателей. Организация перевозки лесных грузов в лихтерах должна решаться комплексно. Переработка лесоматериалов на готовую продукцию должно осуществляться на береговых складах на базе рассмотренных выше мобильных установок. По мере готовности продукции она должна грузиться и закрываться.

Для энергоснабжения мобильного оборудования лесных терминалов в настоящее время используются, в основном, дизель-генераторы, или напрямую от дизельных двигателей, через валы отбора мощности. Однако такой вариант энергоснабжения не является оптимальным, поскольку, во-первых, КПД приводов от двигателей внутреннего сгорания всегда меньше, чем от электропривода, во-вторых, доставка топлива к местам расположения лесных терминалов стоит достаточно дорого, да и сама солярка стоит все дороже.

Различные системы автономного энергоснабжения активно используются во многих странах мира для обеспечения работы удаленных промышленных объектов, лесных плантаций, и т.д. [5]. Они полезны при тушении пожаров, для получения воды, агротехнических мероприятий [6, 7], и т.д. Анализ показывает, что наиболее перспективными вариантами альтернативных автономных источников тепловой и электрической энергии являются газогенерирующие системы, малая солнечная энергетика, а также Микро ГЭС.



Основа процесса газификации – термохимическое преобразование твердого и жидкого исходного сырья в газовый или жидкий продукт. Получаемый продукт транспортируется и сжигается для извлечения тепловой энергии с целью ее механического или электромеханического преобразования, когда конечным результатом становится получение электрической энергии.

Газогенераторные комплексы по назначению используются в двух направлениях. Простейшие генераторы окислительного газа, даже с низким КПД, обеспечивают хорошую энергоэффективность: 750 Вт на 1 кг топлива. Этот предел увеличивается, когда мощность генерации увеличивается до 1 МВт или более. При переработке древесных отходов возникает второе направление, при котором следует применять комбинированные газогенераторы, оборудованные анаэробным компонентом (вторая ступень). В этом случае энергетический потенциал обрабатываемого сырья используется более эффективно. На второй ступени газогенератора можно производить тепло, электрическую энергию, а также синтетическое топливо [8-11].

По сути, газогенератор - это миниатюрная газовая фабрика. В процессе газогенерации твердое топливо в ходе ряда термохимических процессов газифицируется, превращаясь в газ-производитель. Генераторный газ содержит основные компоненты: окись углерода (CO), метан (CH<sub>4</sub>), водород (H<sub>2</sub>). Можно предположить, что в стационарном режиме работы генератора процесс разложения топлива протекает самосогласованно.

По принципу работы газогенераторы делятся на следующие типы: прямого действия, поперечного и обратного.

Использование газогенератора в сочетании с системой обратной связи создает значительный экономический эффект. Затраты при использовании брикетов примерно в 15 раз меньше, чем при использовании дизельного топлива. Более того, промышленные отходы могут быть использованы в качестве сырья для производства топливных брикетов, то есть это решение обладает ресурсом дополнительного «суперэффекта», когда выработка энергии сопровождается утилизацией отходов. Трудно переоценить такую выгоду, поскольку задача поддержания экологического баланса и эффективной глубокой переработки отходов является одной из наиболее актуальных в настоящее время.

Эффективность альтернативной энергетики с точки зрения усредненных ценовых показателей представлена в таблице 1.

Таблица 1

**Сравнение ценовых показателей альтернативных ресурсов энергии**

Вид энергоустановки	Цена энергии за 1 кВт/ч.	
	электрическая	термическая
Прямое использование солнечного излучения	от 5 – 40 руб.	-
Ветрогенератор	от 14 руб.	-
Биогаз	1 м <sup>3</sup> от 7 руб.	
	1 м <sup>3</sup> - 2,1 кВт/ч	
Газогенератор (газификация)	от 0,90 – 1,50 руб.	от 0,40-1,10 руб.
Комбинированная	от 0,40 – 1,50 руб.	от 0,40-1,10 руб.

По сути, эта технология используется для создания процесса с завершенным циклом переработки отходов производства. Основной особенностью газогенератора является система автоматической оптимизации теплового режима камеры газификации и повышенное содержание водорода и метана в общем объеме генераторного газа и фурменный пояс камеры газификации в новой конструкции изготовлен методом литья из металлокерамики, в состав которой входят ингибиторы, также инициирующие образование водорода и метана. При этом рабочий ресурс фурменного пояса увеличивается почти в 3 раза. Избыток электрической энергии расходуется на производство гидридного топлива и кислорода.

Система основана на принципе максимального сокращения узлов и агрегатов с механическим и электромеханическим приводом, так как их эксплуатация инициирует наибольшее количество отказов в аварийных ситуациях. Вероятность их возникновения возрастает в условиях низких температур. Именно по этой причине из технологической схемы исключаются углеводородные виды топлива, в том числе конденсированный природный газ.

Газогенератор может быть использован для утилизации сельскохозяйственных и промышленных отходов, а также шлама очистных сооружений; при замене классического топлива (местный уголь, мазут, торф, природный газ) на синтез-газ, используемый для технологических нужд предприятия и ЖКХ, путем преобразования его в электрическую и тепловую энергию [12, 13].

Сырьевым ресурсом для работы газогенератора на твердом топливе являются брикеты, в том числе из сельхоз отходов с влажностью не более 30%. Размер брикетов от 10 до 100 мм (без определенной формы) и от 10x40x100 мм до Ø60x100 мм (прессованные).

В комплект с газогенератором присутствует система очистки газа. Дополнительным оборудованием для работы комплекса является линия измельчения, сушки и брикетирования, газопоршневая установка. Газ, полученный при высокотемпературной газификации, принудительно направляется в зону регенерации, где он превращается в генераторный газ. Затем производится очистка, охлаждение и транспортировка. Вся агрегатированная конструкция может быть как стационарного, так и мобильного исполнения. Система может работать круглосуточно, в автоматическом режиме и дистанционно обслуживается одним оператором в смену. Управление осуществляется в автоматическом или, при необходимости, ручном режимах.

Химический состав генераторного газа:  $\text{CO}=32-34\%$ ;  $\text{N}_2=32-36\%$ ;  $\text{CH}_4 = 5-8\%$ ;  $\text{CO}_2=2-5\%$ ;  $\text{H}_2=12-18\%$ ;  $\text{H}_2\text{S} = \text{до } 0,01\%$ ;  $\text{C}_2-\text{C}_{10}=\text{до } 10\%$ ;  $\text{NO}=\text{до } 0,015\%$ .

При преобразовании органических веществ в газ и жидкое топливо реактор газификации может состоять из двух отдельных камер: одна для влагоудаления влаги, другая для газификации. Поскольку избыточное содержание влаги на начальном этапе снижает энергоэффективность установки. Конструктивное исполнение реактора обеспечивает увеличение выхода до 90% продукта, в котором содержание воды снижено до 1-1,5%, а удельная теплота сгорания увеличена на 15-20%.

Занимаемая площадь под действующую установку переработки отходов и генерации энергии (тепловой и электрической) приведена в сравнительной таблице 2.

Для каждого типа мощности системы генерации необходим общий склад для топлива из расчета месячной нагрузки энергопотребления. Площадь склада может варьироваться в пределах от 200 до 1000 м<sup>2</sup>.

Основным узлом газогенераторной установки является фурменный пояс. В области фурменного пояса твердое топливо разлагается на газообразные компоненты. Материал этого компонента обеспечивает эксплуатацию системы в самых сложных тепловых условиях. По этой причине изготовления можно использовать металлокерамическую конструкцию фурменного пояса. Это обеспечит повышение рабочей температуры и снижение доли вредных веществ, выходящих в атмосферу.

Вводя катализаторы в компоненты материала фурменного пояса также дополнительно можно увеличить долю водорода в газовом продукте. Во время работы газогенератора диоксины не попадают в атмосферу, так как при температуре 1200°C они полностью разлагаются на фурменном поясе. Эта система так называемой «чистой трубы», продуктами которой являются только результат окисления водорода: вода и ее производные. В итоге состояние воздуха

в районе эксплуатации системы значительно улучшится. То есть процесс газогенерации является уникальным еще и с точки зрения экологии.

Таблица 2

### Сравнение геометрических параметров газификаторов

Параметры	100 кВт	300кВт	500 кВт
Высота x диаметр газификатор	3м x 0,6м	4м x 0,7м	5м x 0,9м
Занимаемая площадь вспомогательного оборудования (дробилка, пресс, сушилка, транспортер загрузки)	25 м <sup>2</sup>	45 м <sup>2</sup>	90 м <sup>2</sup>
Занимаемая площадь для газотурбинной установки, электрогенератора, пульта управления	30 м <sup>2</sup>	60 м <sup>2</sup>	120 м <sup>2</sup>
Итого, занимаемая площадь	55 м <sup>2</sup>	105 м <sup>2</sup>	210 м <sup>2</sup>

Бурный прогресс в технологии производства фотоэлектрических модулей (ФЭМ), а также наблюдаемый в последнее десятилетие прогресс в производстве систем накопления электроэнергии (СНЭ) и, связанные с этим, значительное снижение удельной стоимости электроэнергии, вырабатываемой солнечными электростанциями (СЭС), привели к тому, что СЭС стали вполне реальным альтернативным источником электроэнергии и, прежде всего, в изолированных энергосистемах. За 8 лет, с 2012 г., Установленная мощность фотоэлектрических модулей в России выросла с 0,1 до 1,726 МВт. Потенциал солнечного излучения в России представлен на рисунке 6.

Пока что говорить о СЭС, как о полноценном и достаточном источнике электроэнергии, не приходится в силу его нестабильности. Или же это потребует значительных затрат на аккумуляторные батареи. Поэтому в настоящее время в изолированных энергосистемах применяются Автономные гибридные электроустановки имеющие в своём составе: ДЭС – основной источник; СЭС – дополнительный; СНЭ – опционально; АСУ – управление режимами.

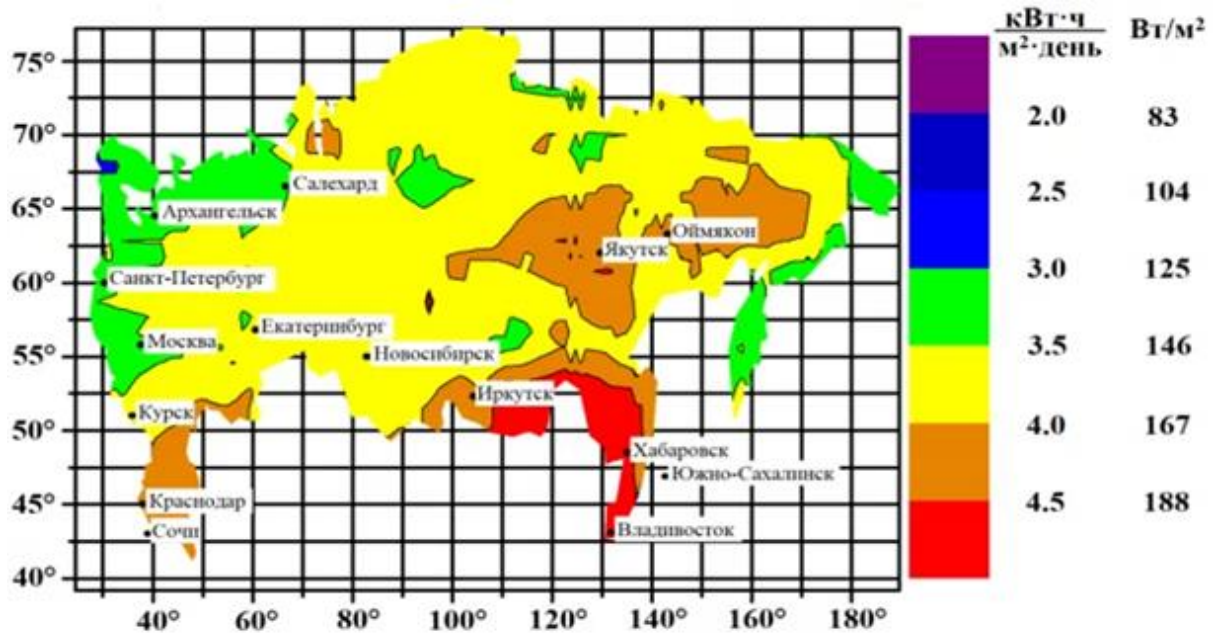


Рис. 6. Потенциал солнечного излучения в России

В настоящее время автономные гибридные энергетические установки (АГЭУ) получили распространение двух типов: стационарные, относительно большой мощности, и мини-АГЭУ относительно небольшой мощности.

Стационарные АГЭУ предполагают отдельную площадку под размещение ФЭМ и существенные затраты на строительные-монтажные работы для их установки.

Мини-АГЭУ, как правило, создаются на базе блок-контейнеров, содержащих внутри оборудование, включая ДЭС, и являющихся опорной конструкцией для установки ФЭМ. Затраты на установку мини-АГЭУ минимальны. Обычно мощность мини-АГЭУ не превышает 10 кВт.

Стоимость электроэнергии, выработанной ДЭС, определяется стоимостью дизельного топлива, включая стоимость его доставки, а также стоимостью эксплуатации ДЭС, а также хранения значительного количества дизельного топлива. Очевидно, что составляющие стоимости такой электроэнергии имеют тенденцию только к повышению.

При этом основное оборудование, входящее в состав СЭС имеет тенденцию к снижению относительной стоимости, в т.ч.: ФЭМ, СНЭ, инверторное оборудование, контроллеры АСУ и в части общей стоимости строительства СЭС от стоимости оборудования в одном временном периоде практически линейна. При этом стоимость затрат на выполнение работ с применением даже небольшого количества техники, имеет существенную постоянную составляющую, зависящую от труднодоступности площадки строительства. По этой причине реализация СЭС с циклом строительства относительно малой мощности может оказаться за

рамками экономической целесообразности. В этом отношении действует прямая зависимость: чем больше установленная мощность СЭС (с учётом объёмов потребления конечно же), тем больше экономический эффект от её работы. Точные данные о стоимости реализации АГЭУ, могут быть получены в результате разработки проектного решения с учётом всех индивидуальных условий, выбора оборудования СЭС и СНЭ, определения их оптимальных параметров. Имея эти данные, а также точные данные по стоимости электроэнергии, получаемой от ДЭС, несложно определить сроки окупаемости реализации АГЭУ.

Стоимость реализации мини-АГЭУ не имеет затрат на строительство и определяется только стоимостью оборудования, его доставкой и незначительными затратами на монтаж на месте развёртывания. Также при реализации мини-АГЭУ не потребуются расходы на проектирование. Тем не менее, точная стоимость реализации мини-АГЭУ может быть определена также после определения всех индивидуальных параметров и условий эксплуатации.

На территории России протекает большое количество малых рек, ручьев, от которых, при помощи микро ГЭС, можно получать очень дешёвую и экологически чистую энергию для энергоснабжения удалённых от центральной электросети потребителей. Технические характеристики малых рек России приведены в таблице 3.

Таблица 3

### Сведения о малых реках и их энергопотенциале

Характеристика		Единицы измерения	величина
Малая река	длина	км	100
	Площадь водосбора	тыс. км <sup>2</sup>	2
Число рек	Общее число	млн	2,5
	от общего числа рек страны	%	99
Объём стока	всего реками РФ	км <sup>3</sup>	427
	малыми реками	%	49
энергопотенциал	расчетный малых рек	млрд кВтч	382
	использование		2,2
		%	0,6

Вырабатываемая микро ГЭС мощность определяется сочетанием двух факторов:

- напора воды, поступающей на лопасти гидротурбины, которая приводит в действие вырабатывающий электроэнергию генератор;
- расходом воды, т.е. объемом воды, поступающим на турбину в единицу времени (обычно расчет идет в секунду).

Основным показателем эффективности использования микро ГЭС является скорость движения водного потока. Если скорость течения реки меньше 1 м/с, то для увеличения скорости потока необходимо сделать обводной канал переменного сечения [14].

Преобразование энергии движущейся воды в электричество не является открытием, его активно использовали геологоразведчики и лесозаготовители в местах, далеких от цивилизации. Эти инженерные конструкции имеют свои преимущества и недостатки.

К преимуществам использования микро ГЭС следует отнести такие ее характеристики, как:

- работу в любое время суток и при любой погоде, (в сравнение ветрогенераторы и солнечные батареи ограничены по этим показателям);
- возможность установки на малой по глубине реке;
- бесшумная работа и отсутствие загрязнения водной среды;
- экологическая безопасность оборудования;
- низкая стоимость получаемой электроэнергии;
- простота и надёжность применяемого оборудования;
- неисчерпаемость используемых для выработки энергии ресурсов;
- отсутствие необходимости получения разрешительных документов на установку и использование.

К недостаткам использования микро ГЭС относят:

- невозможность работы в период замерзания малой реки и ограничение по минимальным скоростям течения реки, что требует внедрения конструкций быстротоков, а это дополнительные финансовые вложения;
- относительная опасность для обитателей водной фауны, т.к. вращающиеся лопасти турбин в скоростных потоках, могут представлять угрозу для рыб или мальков.

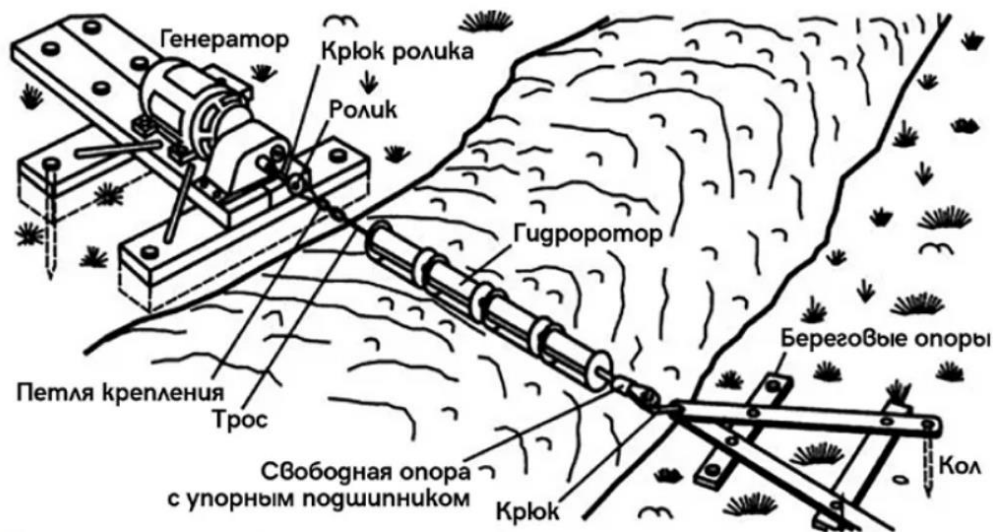
Безнапорные микро ГЭС разделяются на три группы: гирляндные, погружные и наплавные [15].

Электрогенерирующая установка каждой микро ГЭС должна состоять из турбины, генератора и системы автоматического управления, в которую входят блоки управления турбиной, балластной нагрузки, стабилизатор напряжения и банк накопления энергии (АКБ).

Наиболее простой в изготовлении, дешевой в установке и эксплуатации в расчете на 1 кВт вырабатываемой электроэнергии является гирляндная микро ГЭС. Требования к водному объекту для ее установки также предельно просты: глубина речки должна быть более 25 см, скорость течения - от 1,0 м/с.

Каждая из веток гирляндной микро ГЭС состоит из лёгких турбин, которые называются гидровингроторами. Они нанизываются на трос, который

перебрасывается между двумя берегами реки. Такая схема называется поперечной гирляндной микро ГЭС и показана на схеме рисунка 7.



**Рис.7.** Схема установки поперечной гирляндной микро ГЭС

Каждый гидровингродор состоит из двух смещённых относительно друг друга полуцилиндров. При погружении гидровингродора в поток воды из-за разности гидравлических давлений на его поверхности относительно оси вращения создаётся крутящий момент. Один конец троса закрепляется в опорном подшипнике, а второй вращает ротор генератора. Трос выполняет роль вала, вращательное движение которого передается к генератору.

Гидровингродор оказывает лобовое сопротивление потоку, из-за этого трос гирлянды натягивается и выгибается в направлении движения воды в реке. Гидровингродоры крепятся к тросу попарно. Каждая пара имеет свой узел крепления, и в каждой паре один гидровингродор развёрнут по отношению к другому на  $90^\circ$  для создания равномерного вращения троса, а следовательно, и вала генератора.

Для установки гирлянды учитывают особенности конструкции:

1. Роторы на тросе закрепляются попарно со смещением роторов каждой следующей пары на  $90^\circ$  относительно друг друга для обеспечения равномерного вращения.

2. Направление вращения троса выбирается так, чтобы его нити работали только на скручивание.

3. Заборники турбин устанавливаются по отношению к потоку по двум вариантам:



- выше троса, тогда гирлянда работает «на всплытие» и при вращении держится на поверхности воды, (используется в весенне-летний период на любой реке);

- ниже троса, тогда гирлянда прижимается ко дну, но его не касается, (используется в зимний период времени подо льдом, и на судоходных реках).

4. Опущенная в воду гирлянда развивает значительный крутящий момент, поэтому при переброске гирлянды через поток нельзя допускать касания воды провисшими частями гирлянды.

Если река имеет небольшую ширину, и одна ветка гирлянды не может достичь требуемой мощности, то устанавливают ряды гирлянд, так называемая многогирляндная микро ГЭС.

**Заключение.** Рассмотренные в статье мобильные линии по выработке пиломатериалов, пеллет, эфирных масел, могут составлять основу высокоэффективного лесного терминала, который, при наличии доступного водного пути оптимально организовывать с использованием баржево-лихтерной технологии.

Энергообеспечение лесного терминала наиболее оптимально выполнять при помощи комбинации альтернативных автономных источников тепловой и электрической энергии - газогенерирующих систем, малой солнечной энергетики, а также Микро ГЭС.

### Литература

1. Тамби А.А., Григорьев И.В., Давтян А.Б., Помигуев А.В., Калита О.Н., Григорьев В.И. Технологическая интеграция лесопромышленных предприятий // Деревообрабатывающая промышленность. 2021. № 1. С. 26-37.
2. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И., Глуховский В.М. Перспективные направления развития технологических процессов лесосечных работ // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2016. № 2 (184). С. 109-116.
3. Куницкая О.А. Повышение эффективности лесной промышленности Республики Саха (Якутия) путем развития лесохимических технологий // Повышение эффективности лесного комплекса. материалы Шестой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2020. С. 88-89.
4. Мануковский А.Ю. Обоснование технологии водного транспорта леса минимизацией воздействия на экосистемы водоемов. Автореферат дисс... докт. техн. наук. Воронеж: ВГЛТА, 2004. 40 с.

5. Марков О.Б., Воронов Р.В., Давтян А.Б., Григорьев И.В., Калита Г.А. Математическая модель выбора системы машин для создания и эксплуатации лесных плантаций // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2021. № 1. С. 16-26.
6. Григорьева О.И., Гринько О.И., Николаева Ф.В. Лесопожарные транспортно-технологические комплексы на базе колесных форвардеров // *Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции*. Отв. редактор Н.С. Захаров. Тюмень, 2021. С. 55-58.
7. Григорьева О.И., Гринько О.И., Давтян А.Б., Григорьев И.В. Технология получения воды в лесу при помощи иглофильтров // *Повышение эффективности управления устойчивым развитием лесопромышленного комплекса. Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г. Ф. Морозова*. Редколлегия: Е.А. Яковлева [и др.]. 2020. С. 444-449.
8. Asadullah M. Barriers of commercial power generation using biomass gasification gas: A review // *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. – 2014. – Т. 29. – С. 201-215.
9. Gas Technology Institute campus generating on-site power // *Power Engineering*. – 2003. – Т. 107, № 1. – С. 50-50.
10. Molino A., Chianese S., Musmarra D. Biomass gasification technology: The state of the art overview // *Journal of Energy Chemistry*. – 2016. – Т. 25, № 1. – С. 10-25.
11. Panwar N.L., Kaushik S.C., Kothari S. Role of renewable energy sources in environmental protection: A review // *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. – 2011. – Т. 15, № 3. – С. 1513-1524.
12. Springmann H. High pressure gasification of coal using nitrogen dilution of waste gas from steam generator // *Book High pressure gasification of coal using nitrogen dilution of waste gas from steam generator / EditorGoogle Patents, - 1977*.
13. Frewer H., Muller R., Schiffers U. Gas turbine and steam power-generating plant with integrated coal gasification plant // *Book Gas turbine and steam power-generating plant with integrated coal gasification plant / EditorGoogle Patents, - 1986*.
14. Пономаренко А.С. Классификация и перспективы минигидроэлектростанций // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета* – 2013. - №89. – С. 790 - 799.
15. Блинов Б.С. Гирляндная ГЭС - М-Л: Госэнергоиздат, 1962. - 64 с.