

# НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

---

## ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

---

УДК 630\*36

А. С. Федоренчик, кандидат технических наук, профессор (БГТУ)

### ФОРМИРОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ МАШИН ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ

Предложена концепция и показана целесообразность развития модульных систем комплексной переработки древесного сырья на базе мобильных систем машин. Выполнена их классификация и обоснованы варианты систем машин для переработки деловой и дровяной древесины, отходов лесозаготовок, зелени в условиях лесосеки и терминалов.

The conception and the expediency of modular integrated wood processing systems based on mobile machines are proposed. Their classification is made and options of machine systems for the processing of business and fuel wood, wood wastes, greens in cutting areas and terminals are substantiated.

**Введение.** Перед предприятиями лесного комплекса страны в нынешнем пятилетии стоит задача роста производства эффективных заменителей круглых лесоматериалов, углубленной их переработки, утилизации отходов в энергетических целях [1, 2].

Имеющиеся на сегодня недостатки, вытекающие из территориальной и организационно-технологической разобщенности лесных производств, затрудняют осуществление единой технической политики в деле рационального использования древесины и резкого повышения производительности труда в целом по лесному комплексу. В условиях конкурентного функционирования перерабатывающих предприятий различных форм собственности и мощности рыночных форм продажи леса на корню в стране имеют место встречные перевозки древесины. Затраты на ее хранение и доставку (транспортные, перевалочные, биржевые и др.) на крупных лесоперерабатывающих предприятиях возросли настолько, что нередко превышают расходы лесохозяйственных и лесозаготовительных предприятий на ее заготовку и вывозку. Деконцентрированность лесосек, малые их площади и запасы, труднодоступность части лесфонда, отсутствие требуемого количества дорог, возрастающие объемы ветровально-буреломной древесины обуславливают перио-

дический характер деятельности лесозаготовительных структур с присущими ему дорогостоящими перебазировками и серьезно снижают возможности эффективного использования древесных ресурсов.

В этой связи представляет интерес путь решения данной проблемы для малообъемных предприятий, осуществляющих заготовку древесины, на основе развития и внедрения мобильных систем машин (МСМ). В широком понимании мобильной можно назвать машину, которую легко доставить к месту нахождения сырья, не требующую работ по возведению фундамента, прокладыванию коммуникаций.

Успехи лесного машиностроения, в том числе и отечественного, позволяют в настоящее время не только полностью исключить ручной труд при проведении рубок главного и промежуточного пользования, но и обеспечить процесс комплексной переработки древесины с помощью МСМ как на лесосеке, так и на терминалах (промежуточных складах) у дорог круглогодичного действия. Строить нижние склады и цеха по переработке древесного сырья с инженерными коммуникациями – дорогостоящее мероприятие. Для ранее построенных складов в населенных пунктах часто нет свободных территорий для расширения. Кроме того, вывозить из леса готовую продукцию или

полуфабрикат экономически более выгодно, так как увеличивается коэффициент загрузки транспортных средств с 0,67 (круглые лесоматериалы) до 1,00 (пиломатериалы), во многих случаях возможна прямая доставка продукции потребителю, что сокращает расстояние вывозки в среднем до 1,5 раза. Из-за технологических трудностей (рассредоточенность, малый запас на единице площади, низкий коэффициент полндревесности, (например, для сучьев и ветвей равен 0,12; вершинок – 0,30; обрезок стволов и бревен – 0,40) вывозка отходов экономически невыгодна, поэтому они часто остаются на лесосеке и сжигаются.

**1. Системы машин.** Под *системой машин* для комплексной переработки древесного сырья понимаем совокупность машин и оборудования для выполнения необходимых взаимосвязанных по технологическим, техническим и эксплуатационным параметрам операций, обеспечивающих выпуск целевого продукта в заданных природно-производственных условиях. В зависимости от целевого назначения получаемой продукции и технически реализуемых

возможностей выделим семь групп МСМ для комплексной переработки древесного сырья (рис. 1).

*Первая группа* машин, предназначенная для производства щепы, подразделяется на три МСМ: 1.1 – для производства топливной щепы; 1.2 – производства технологической щепы; 1.3 – производства любой щепы.

*Вторая группа* машин предназначена для переработки пиловочника, заготавливаемого в первую очередь в лесах, загрязненных радионуклидами. Учитывая, что в нем загрязнена периферийная часть, а сердцевинная является чистой, из нее можно дополнительно получить различную пилопродукцию, оставляя загрязненную часть в виде горбылей, реек и опилок на лесосеке. Данная группа машин подразделяется на две МСМ: 2.1 – для выпилки шпал, досок, брусев; 2.2 – получения профилированной продукции. *Третья группа* машин предназначена для переработки деловой древесины. В ней выделим следующие МСМ: 3.1 – для изготовления кольев; 3.2 – для производства оцилиндрованных изделий.

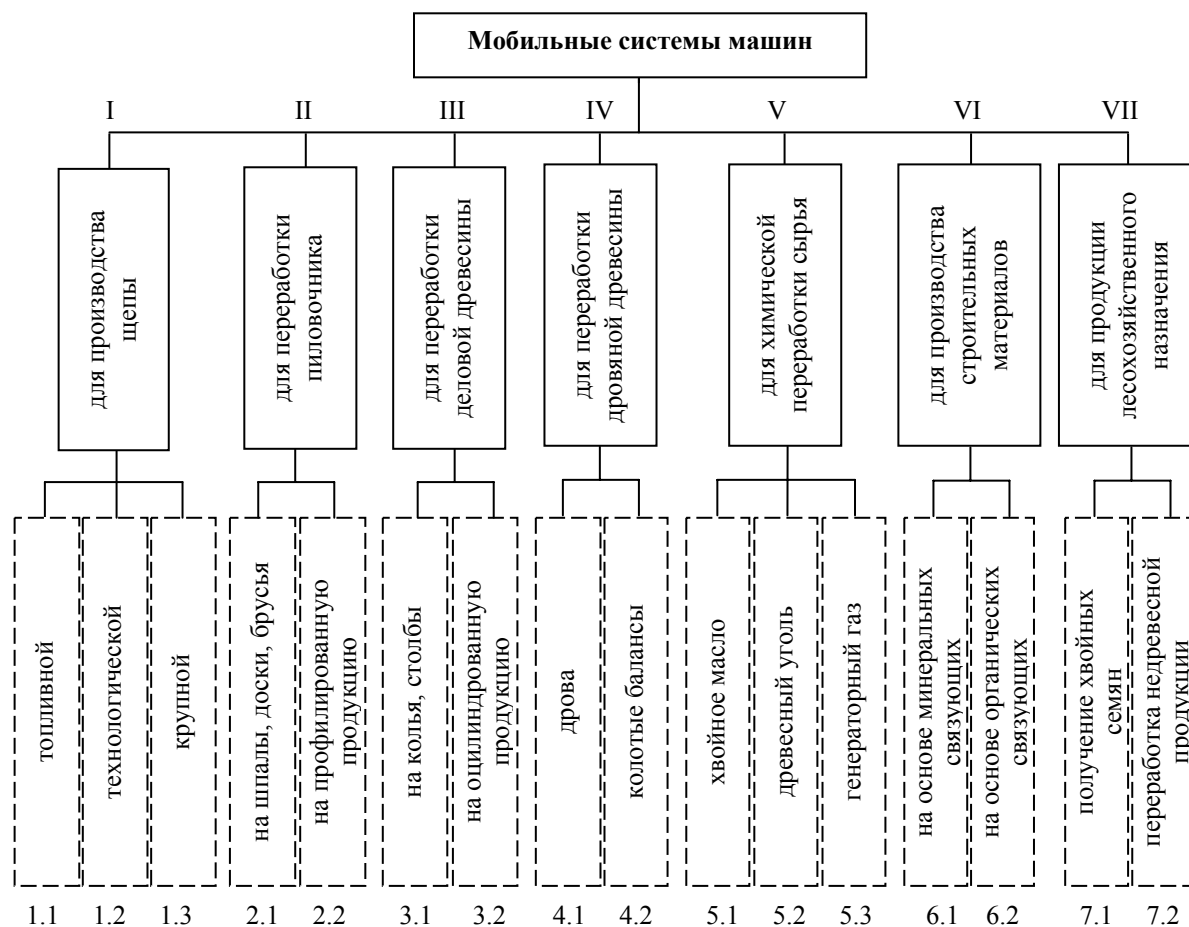


Рис. 1. Мобильные системы машин для комплексной переработки древесного сырья: I–VII – номер группы машин; 1.1–7.2 – номер системы машин

*Четвертая группа* машин предназначена для переработки дровяной древесины. В ней можно выделить следующие МСМ: 4.1 – для изготовления дров; 4.2 – производства колотых балансов. *Пятая группа* машин, осуществляющая химическую переработку биомассы дерева, подразделяется на три МСМ: 5.1 – для выработки хвойного масла из древесной зелени; 5.2 – получения древесного угля; 5.3 – газификации древесины. *Шестая группа* машин предназначена для производства строительных материалов. Она включает две МСМ: 6.1 – для производства материалов на основе минеральных связующих; 6.2 – производства материалов на основе органических связующих. *Седьмая группа* машин предназначена для получения продукции лесохозяйственного назначения и включает следующие МСМ: 7.1 – для получения хвойных семян из шишек; 7.2 – переработки недревесной продукции (ягод, грибов и др.).

Состав и выбор оборудования в рассматриваемых МСМ зависят от многих факторов: объема лесозаготовок и номенклатуры вырабатываемой продукции; места выполнения операций и вида перерабатываемого сырья; вида силовой базы для привода механизмов и природно-производственных условий. В качестве силовой базы могут использоваться колесные или гусеничные трактора, дизель-электростанции, линии электропередач, газогенераторные установки. В зависимости от вида оборудования технологические и переместительные операции той или иной МСМ могут выполняться последовательно разными машинами или одной, к которой технологические агрегаты подключаются поочередно по мере накопления того или иного вида сырья (полуфабриката).

В этой связи при разработке новых и выборе имеющихся машин для реализации требуемых техпроцессов приоритет должен отдаваться машинам:

- исключаящим или минимизирующим ручной труд;
- специализированным по сравнению с машинами общего назначения;
- многооперационным по сравнению с однооперационными;
- обеспечивающим автоматизированную обработку сырья (отходов) по инвариантным схемам, позволяющим вести одновременный учет продукции и непосредственный обмен информацией на расстоянии;
- допускающим возможность нетрудоемкого агрегатирования с навесным и (или) прицепным технологическим оборудованием и сменным комплексом специализированных устройств;
- не требующим больших трудозатрат на перебазировку;

– имеющим меньшую массу, габариты, удельное давление на грунт, расход топлива или работающим на энергии, полученной из древесной биомассы.

На сегодня степень отработанности и масштабов применения предложенных к рассмотрению МСМ для комплексной переработки древесного сырья разная, но все они предполагают взаимодействие с системами машин, осуществляющими заготовку деловой древесины.

Наиболее отработанными и широко применяемыми являются МСМ 1.1 для производства топливной щепы. Только в Республике Беларусь с их помощью ежегодно заготавливается около 750 тыс. м<sup>3</sup> топливной щепы, а к концу 2015 г. этот объем должен составить 1500 тыс. м<sup>3</sup>. Данные системы, основу которых составляют самоходные или прицепные барабанные рубильные машины (МР-25, МР-40, МР-100, «Амкодор-2902» и др.) и технологии их работы, достаточно подробно описаны в литературе [3].

Актуальность применения МСМ 1.2 для производства технологической щепы, которая широко распространена в США, Канаде, Австралии, в нашей стране возрастает в связи с завершением строительства ряда крупных заводов по производству плитных материалов суммарной мощностью по переработке сырья 1030 тыс. м<sup>3</sup>. Ведущей в системе является сучкорезно-окорочно-рубильная машина компании «Peterson Pacific» [4]. Она может конструктивно состоять из одного или двух самостоятельных блоков (сучкорезно-окорочного и рубильного), выполненных каждый на своей раме-прицепе и иметь разные мощности и производительность.

Основу МСМ 1.3 для производства топливной и технологической щепы составляют самоходные рубильные машины, предназначенные для измельчения пневокорневой и «старой (отслужившие шпалы, заборы, срубы и т. п.)» древесины. Машины таких фирм, как «Doppstadt», СБИ, «Lindnet», позволяют при измельчении отделять почвогрунты и металлические включения. Их отличительной способностью является возможность замены измельчающего органа (массивный стальной, кованный молотковый, многоножевой), что позволяет получать различные виды измельченного материала – дробленку, щепу различных фракций, сырье для производства пеллет. Данные МСМ дают возможность успешно утилизировать не только древесное сырье, но и строительный мусор, коммунальные отходы.

С помощью второй группы машин из лесов, загрязненных радионуклидами, ежегодно можно добывать до 300 тыс. м<sup>3</sup> чистой пилопродукции.

В качестве режущего инструмента в МСМ 2.1 для выпилки шпал, брусьев, досок чаще всего применяются ленточные пилы, но могут использоваться круглые и цепные. На мобильных станках этой системы выход пиломатериалов может достигать 50–70%. Лидером по количеству выпускаемых модификаций мобильных лесопильных станков является хорошо известная фирма «Wood-Mizer». Ее станок серии «Super LT-40HD» имеет дизельный двигатель мощностью 40 л. с. с турбонаддувом. В состав также входит прицепное устройство, ось с колесами, тормоза, световая сигнализация. Ленточная пила позволяет осуществлять распиловку бревен диаметром до 71 см и длиной до 6,5 м. Линейка станков данной фирмы может оснащаться легким околостаночным оборудованием, что облегчает процесс распиловки. Конкуренцию данной фирме пытаются составить многочисленные производители из России, выпускающие аналогичное по конструкции или назначению оборудование (мобильные пилорамы МПР-1, «Соболь», «Алтай», «Тайга», «Молома» и др.).

В состав МСМ 2.2 входят мобильные ленточнопильные станки, оснащенные дополнительным устройством для профилирования бруса, и фрезерно-пильные установки. Например, ленточная пилорама LOGOSOL LM PRO оснащена фрезером «Логфреза LM 410». На профилно-брусующем станке MP-100 установлен строгальный шпиндель с четырьмя фигурными ножами, позволяющими изготавливать профилированный брус, шпалы, фигурные колонны и др. На станке сначала получают брус и затем, не снимая его со станины, придают ему требуемый профиль. К станкам серии LT можно дополнительно установить дебаркер (коросниматель) фирмы «Wood-Mizer», который убирает кору перед тем, как пила входит в бревно.

Примером передвижной фрезерно-пильной установки является агрегат УПФП-1М, предназначенный для переработки круглых тонкомерных бревен на обрезной пиломатериал за один проход бревна. Привод рабочих органов агрегата осуществляется от вала отбора мощности трактора МТЗ-82. Агрегат расположен на одноосном прицепе и транспортируется по лесным дорогам трактором. Фрезерный блок выполнен из двух цилиндрических фрез диаметром 250 мм. Пильный блок допускает размещение пяти круглых пил с максимальным диаметром 450 мм. После фрез полученный двухкантный брус подается на распиловку. На агрегате может вырабатываться брус сечением 100×100 мм и менее, доска обрезная толщиной 25, 30, 40 и 50 мм [5].

Для предприятий, ведущих лесозаготовки, разработку ветровально-буреломных лесосек, прокладку через лесные массивы линий электропередач, нефте- и газопроводов представляют интерес системы машин других групп. Так, из тонкомерной и короткомерной древесины, образуемой при этом, МСМ 3.1 могут быть изготовлены колья и столбы. Широкое применение доля этих целей в Европе получили мобильные установки ROBOPEL-150, ROBOPEL-250, которые агрегируются с колесным трактором типа МТЗ-82 и позволяют обрабатывать соответственно бревна диаметром 150 и 250 мм и длиной 1,89 и 2,51 м. Наряду с окоркой и оцилиндровкой бревен с помощью ножевого диска специальным приспособлением можно осуществлять их заточку.

МСМ 3.2 позволяет получать различные изделия из бревен, которые при обработке фиксируются по торцам, т. е. в центрах по своей оси. Длина обрабатываемых бревен при этом может изменяться в диапазоне 1,5–7,5 м, а диаметр 14–65 см. Агрегат «Мастер ОЦ-550» за одну установку бревна выполняет оцилиндровку, выборку паза и чашек. Он позволяет производить конусообразные бревна, опоры линий электропередач. Установки LIDER LRO-1M, ОС-2 осуществляют оцилиндровку бревен диаметром до 24 см. Агрегат КНТ-2, смонтированный на двухосной колесной платформе, делает оцилиндровку бревна, выполняет соединительные угловые врубки, выбирает четверть для изготовления деталей домостроения. В качестве силовой базы для привода рабочих органов используется с дизель-электрическим агрегатом АД.75-Т/400 передвижная электрическая станция ЭДС-75, расположенная на двухосном прицепе МАЗ 5207В [5].

Многочисленность машин и агрегатов для переработки низкокачественного сырья на дрова и колотые балансы указывает на повышенный интерес европейских компаний к данному технологическому направлению. Принцип работы МСМ 4.1 можно видеть на рис. 2. Мобильная система XYLOG 550, расположенная на одноосном прицепе, получает привод технологического оборудования от вала отбора мощности колесного трактора. Она позволяет бревна длиной до 6 м поштучно распиливать на чураки, раскалывать их в автоматическом режиме на 2/4/8/16 частей в зависимости от диаметра и загружать поленья в транспортное средство. Разной сложности и модификации «дровяные процессоры» производят фирмы «Rabaud», «Dalen», «IGLAND», «WoKretzer», «FARMI», «JAPA», «Foresttechnik Lochner», «POSH» и многие другие.

Колотый баланс может производиться на передвижном агрегате НТО-1, входящем в

МСМ 4.2. Оборудование агрегата навесное, монтируется на заднюю подвеску трактора МТЗ-82 и включает в себя: раму, пильный узел и станок для раскалывания чураков. Привод пилы осуществляется от вала отбора мощности трактора через карданный вал, а привод гидроцилиндра колуна от гидросистемы трактора. Отметим, что ряд агрегатов, входящих в МСМ 4.1, после небольшой перестройки также могут производить колотые балансы.

Пятая группа машин для химической переработки древесного сырья в настоящее время представлена меньшим количеством оборудования. На предприятиях лесной промышленности для выработки хвойного (эфирного) масла используется передвижная установка ППУ-1А (МСМ 5.1). Она смонтирована на полозьях. В основу ее работы положен способ перегонки зелени с водяным паром. Количество получаемого пихтового масла за один цикл до 40 кг, при расходе дров – 0,25 м<sup>3</sup>/ч. Древесный уголь на лесосеке получают с помощью углевыжигательных печей УВП-4 и УВП-5, смонтированных на одноосном прицепе или саях, МСМ 5.2. В качестве сырья используются кусковые отходы лесозаготовок и дровяная древесина. В основе получения угля лежит процесс термического разложения сырья в цилиндрических камерах без доступа воздуха. Годовое производство угля на одну печь составляет не менее 600 м<sup>3</sup>, при расходе дров для сжигания в топке печи не более 350 м<sup>3</sup>.

Хорошие перспективы для массового применения имеет МСМ 5.3, позволяющая получать газифицированное топливо из возобновляемого древесного сырья. Например, в МВТУ им. Н. Э. Баумана разработана мобильная автономная установка на базе двигателя внутреннего сгорания, работающая на таком газообразном топливе и предназначенная для выработки тепловой и электрической энергии мощностью 8–20 кВт [6]. Ее использование позволяет получить ощутимые экономические, социальные и экологические эффекты, связанные с экономией нефтяных топлив (в среднем около 850 кг в год на каждую единицу установленной мощности). Аналогичный эффект может быть достигнут и при совместной работе многочисленных небольших газогенераторов с современными электрогенераторами, в совокупности представляющими электростанции.

Шестая и седьмая группы машин представлены единичными видами оборудования, что говорит об отсутствии широкого спроса на них у производителей. Примером МСМ 6.1 может являться мобильный смесеприготовительный комплекс Билимбаевского экспери-

ментального завода для обеспечения рассредоточенных объектов строительства арболитовой или королитовой смесью [7]. Его технологическое оборудование смонтировано на прицепе щеповоза ЛТ-7А и позволяет производить на основе древесной щепы (коры) и цемента, воды и добавок строительные материалы – арболит и королит. Для получения хвойных семян из шишек созданы передвижные машины ШП-0.06 (шишкосушилка) и МОС-1А, входящие в состав МСМ 7.1. Система машин для переработки недревесной продукции МСМ 7.2 находится в стадии разработки.

## 2. Производительность систем машин.

Системы машин, осуществляющие комплексную переработку древесного сырья под открытым небом, фактически заменяют многостаночные линии последовательного агрегатирования, производящие аналогичную продукцию в условиях лесных складов или цехов. Если линия объединяет  $n$  станков, то с учетом надежности оборудования при жестких связях машин в потоке, когда между ними нет буферных емкостей, сменная производительность линии  $\Pi_{ж}$  составит [8]

$$\Pi_{ж} = \mu_{то} \cdot \varphi \cdot T \cdot \prod_{i=1}^n K_{т}^{(i)},$$

где  $\mu_{то}$  – интенсивность обработки предметов труда в потоке, определяется минимальным значением интенсивности обработки сырья, полученная по техническим характеристикам машин потока;  $\varphi$  – коэффициент, учитывающий простои по организационным и другим причинам;  $T$  – продолжительность смены за вычетом подготовительно-заключительного времени и времени нормированного отдыха;  $n$  – число машин в потоке;  $K_{т}^{(i)}$  – внутрисменный коэффициент технической готовности  $i$ -той машины, указывающий на вероятность того, что машина окажется работоспособной в произвольно выбранный момент времени в установившемся процессе эксплуатации.

Исследования [8–10] показали, что при введении в поточную линию буферных емкостей транзитного и тупикового типов между машинами производительность линии возрастает соответственно до 20 и 35%. Однако размеры буферных емкостей в стесненных лесоскладских и цеховых условиях ограничены. Они усложняют поточные линии и удорожают процесс их строительства. Работа машин в лесу или на терминалах лишена в значительной мере этих недостатков, т. к. всегда имеются площади для создания запасов сырья, полуфабрикатов и готовой продукции.



Рис. 2. Мобильная система машин для производства дров

Если представить технологию целевого продукта в виде аддитивной структуры машин, последовательно выполняющих операции обработки, то сменную производительность синхронизированной системы машин можно определить по формуле [11]

$$\Pi = \frac{1}{\sum \frac{1}{\Pi_i}},$$

где  $\Pi_i$  – сменная производительность  $i$ -й машины в выбранной технологии;  $i = 1, 2, 3, \dots$  – число машин в технологии.

Тогда, например, для МСМ из трех машин сменная производительность составит

$$\Pi = \frac{\Pi_1 \Pi_2}{\Pi_1 \Pi_2 + \Pi_1 \Pi_3 + \Pi_2 \Pi_3}.$$

Логично предположить, что при неограниченных величинах запасов сырья, полуфабрикатов и готовой продукции создаются условия для автономной работы машин. Производительность системы машин в этом случае будет определяться производительностью наименее производительной машины  $\Pi_m$ , входящей в поток. Поэтому максимальная производительность наименее производительной машины, входящей в МСМ, при ее независимой работе будет предельной производительностью потока.

Качество работы МСМ по производительности в работе [11] предлагается оценивать значением коэффициента  $K_{пр}$ .

$$K_{пр} = \frac{\Pi}{\sum \Pi_i}.$$

На основании вышеизложенного для этих целей можно использовать и коэффициент

$$K'_{пр} = \frac{\Pi}{\Pi_m}.$$

Он показывает степень использования потенциала по производительности МСМ согласно определенной технологии.

**Заключение.** В связи с тем, что возможности экстенсивного развития лесозаготовок исчерпаны, важное значение имеет формирование концепции их развития. Внедрение модульных систем комплексной заготовки и переработки древесного сырья на базе мобильных систем машин является перспективным решением вопросов лесозаготовки для лесозаготовительных предприятий малой и средней мощности. Уровень современного лесного машиностроения позволяет создавать разнообразные мобильные системы машин, вовлекающие дополнительно в переработку значительные объемы отходов лесозаготовок и низкокачественной древесины, образующейся при разработке труднодоступных и ветровально-буреломных лесосек путем производства эффективных заменителей круглых лесоматериалов, углубленной их переработки и выпуска древесного топлива.

Рассмотренные технологии комплексного лесопользования на базе модульных систем машин в дальнейшем могут позволить выйти на создание мобильных лесозаготовительных структур круглогодичного действия с терминалами, обеспечивающими полный цикл переработки древесины и недревесной продукции и не нуждающимися в подводе электроэнергии.

## Литература

1. Государственная программа развития лесного хозяйства Республики Беларусь на 2011–2015 годы: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 03.11.2010. – Минск, 2010. – 28 с.
2. Программа социально-экономического развития концерна «Беллесбумпром» на 2011–2015 годы: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 03.11.2010. – Минск, 2010. – 28 с.

стров Респ. Беларусь от 05.01.2011. – Минск, 2011. – 45 с.

3. Федоренчик, А. С. Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов / А. С. Федоренчик, А. В. Ледницкий. – Минск: БГТУ, 2010. – 446 с.

4. Федоренчик, А. С. Инновационное производство технологической щепы на лесосеке // Труды БГТУ. – 2012. – № 2 (149): Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – С. 3–7.

5. Гомонай, М. В. Технология переработки древесины: учеб. пособие / М. В. Гомонай. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – 231 с.

6. Маслов, Ю. П. Мобильная автономная установка на базе ДВС для выработки электрической и тепловой энергии из местных видов топлива и возобновляемых отходов / Ю. П. Маслов, А. В. Рассказов, А. А. Уйминов // Новости теплоснабжения. – 2009. – № 8. – С. 18–22.

7. Коробов, В. В. Переработка низкокачественного сырья / В. В. Коробов, Н. П. Рушнов. – М.: Экология, 1991. – 288 с.

8. Федоренчик, А. С. Расчет пропускной способности многостаночных потоков с последовательным расположением оборудования / А. С. Федоренчик, Н. Ф. Ковалев // Лесной журнал. ИВУЗ. – 1986. – № 6. – С. 61–67.

9. Залегаллер, Б. Г. Технология работ на лесных складах / Б. Г. Залегаллер. – М.: Лесная пром-сть, 1980. – 232 с.

10. Редькин, А. К. Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок: учеб. для вузов / А. К. Редькин, С. Б. Якимович. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. – 504 с.

11. Беленький, Ю. И. Совершенствование лесозаготовительного производства путем оптимизации технологических процессов на лесосеке: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Ю. И. Беленький; Сев. федер. ун-т им. М. В. Ломоносова. – Архангельск, 2012. – 41 с.

*Поступила 12.03.2013*