

ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ЗАГОТОВКИ И ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ И ПРИНЦИПЫ КОМПЛЕКТОВАНИЯ МАШИН

Изложены основы энергоэффективной технологии заготовки древесины, управляемыми составляющими которых являются способы, приемы и сами машины или системы машин заготовки древесины. Разработано по контрактам двух федеральных целевых программ министерства образования и науки РФ. Апробация разработанных энергоэффективных способов, соответствующих требованиям правил заготовки древесины, выполнена с использованием систем машин «харвестер-форвардер» в рамках промышленных экспериментов на лесных участках Пермского края и Свердловской области. Способы, для которых еще не созданы машины или системы (например, заготовка и обработка дерева в вертикальном положении), апробированы на симуляторах харвестера/форвардера Komatsu.

Ключевые слова: заготовка и переработка древесины, технические функции, удельная энергоемкость, оптимизация, способы, приемы, комплектование систем машин.

S. B. Yakimovich,

Doctor of Technical Sciences, Professor. Department of Forest Management, Ural State Forestry University, Yekaterinburg, Russia,
yakimovichsb@m.usfeu.ru

EFFECTIVE METHODS OF HARVESTING AND PROCESSING WOOD AND THE PRINCIPLES OF COMPLETING MACHINES

The basics of energy-efficient wood harvesting technology are described, the controlled components of which are the methods, techniques, and the machines themselves or systems of wood harvesting machines. Developed under contracts of two federal target programs of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation. Testing of the developed energy-efficient methods that meet the requirements of the rules of wood harvesting was carried out using harvester-forwarder machine systems as part of industrial experiments on forest areas of the Perm Territory and the Sverdlovsk region. Methods for which machines or systems have not yet been created (for example, harvesting and processing wood in an upright position) have been tested on Komatsu harvester/forwarder simulators.

Keywords: harvesting and processing of wood, technical functions, specific energy consumption, optimization, methods, techniques, completion of machine systems.

Способы заготовки древесины ограничиваются нормативными требованиями по охране окружающей среды, в частности правил заготовки древесины и правил лесовосстановления в актуальной редакции, и технологическими требованиями [1]. Технолог в ходе эксплуатации реализует систему неистощительного (сохранности природной среды) и энергоэффективного по критерию удельной энергоемкости (производительного) лесопользования [2, 3]. Оптимизация в рамках этих ограничений и требований определяет наиболее эффективные способы и системы машин. По результатам выполненной оптимизации [2] представлены эффективные способы заготовки и обработки древесины на основе конечных состояний предмета труда (ПТ) заготовки древесины, включая его размещение. Размещение конечных состояний предмета труда относительно фазы транспорта (сортимент на лесосеке; хлыст, доставленный на лесопромышленный склад, биржу сырья и иные конечные состояния) классифицирует по общепринятым подходам способ заготовки и обработки древесины – деревьями, хлыстами, сортиментами, пиломатериалом, щепой и так далее. В этой связи рекомендации по способам заготовки – хлыстовой, сортиментный и пр. – эквивалентны рекомендациям по степени совмещения и размещению технических функций и конечных состояний ПТ заготовки и обработки древесины. Здесь способы или процессы понимаются как совокупность, обрабатывающе-переместительных и транспортных действий (технических функций), определяющих изменение формы (размеров, объема) и положения ПТ и получаемых вследствие этого состояний предмета труда в определенной позиции маршрута технологического процесса (ТП) [2, 4].

Равнозначными по удельной энергоемкости являются все технологические процессы (способы) с одинаковыми конечными состояниями предмета труда заготовки и обработки древесины, получаемых в одинаковой степени компактности на лесосеке или складе, и для которых используется одни и те же способы транспортировки ПТ (волочение, либо полупогруженное или полностью погруженное состояние ПТ) и одни и те же транспортные средства (колесные, гусеничные и др.), определяющие значение суммарного сопротивления. Это такие способы заготовки и обработки древесины, для которых объем предмета труда не изменяется в ходе транспортировки, трелевки и т. п. К ним относятся и два предельных:

1) обработка ПТ до его максимально возможного конечного состояния (например, пиломатериал) в координатах начальной позиции маршрута (например, стоящего дерева) и последующая транспортировка обработанного ПТ в конечную позицию маршрута ТП;

2) транспортировка деревьев в конечную точку маршрута и там его обработка до конечного состояния (при этом должны быть полностью исключены различного рода потери или отделения компонентов дерева в ходе его перемещения). То есть, либо полная обработка на лесосеке, либо альтернативно – на лесопромышленном складе, с последующей реализацией всех полученных при обработке компонентов, объем которых равен объему сырья доставленного для обработки.

Подобные способы определяют также совмещение транспортных и сортировочных действий, когда в процессе сортировки и одновременно транспортировки объем ПТ (например, щепы и др.) остается постоянным. Перечисленные процессы имеют минимальную удельную энергоемкость и наиболее эффективный способ заготовки и обработки древесины по критерию удельной энергоемкости определяются следующими принципами:

1) максимальная степень компактности размещения обрабатывающе-переместительных действий;

2) оставление в координатах пня не используемых в дальнейшем для потребительских целей (кроме целей возобновления) компонентов предмета труда;

3) обработка и реализация потребителю абсолютно всех доставленных компонентов предмета труда заготовки и обработки древесины;

4) исключение обрабатывающих и перевалочных операций в промежуточных позициях маршрута технологического процесса.

Варианты обработки ПТ на лесосеке или лесопромышленном складе в сквозных процессах принадлежат к более высокому уровню иерархии – «лесосека – лесопромышленный склад» и являются идентичными по критерию удельной энергоемкости при одинаковой степени компактности размещения обрабатывающих машин. Здесь также целесообразно наиболее компактное размещение обрабатывающе-переместительных функций. Если одинаковая степень компактности размещения обрабатывающих машин для одного и того же конечного состояния ПТ может быть обеспечена как для условий лесосеки, так и лесопромышленного склада, то дальнейший выбор позиции (места) обработки и размещения конечного состояния ПТ выполняется по следующим критериям, переведенным в ранг ограничений или требований.

1. Обязательность полного и эффективного использования (реализации) абсолютно всех компонентов предмета труда: дерева, хлыста или сортимента в конечной точке маршрута ТП (погрузочном пункте, лесопромышленном складе) при любых способах (хлыстовой, деревьями и др.) обработки ПТ. Однако практически потерь и отходов биомассы при ее доставке для обработки в конечную позицию маршрута избежать невозможно, за исключением транспорта древесины от пня дирижаблями (вертолетами).

2. Лесоводственными требованиями и обеспечивающими наиболее эффективное лесовозобновление, не ухудшение бонитета, исключение проблемы вымораживаемости подроста, смены пород, и другими аспектами, определенными в правилах заготовки древесины и требованиях различных систем сертификации.

3. Экологическими ограничениями на сохранность почв в связи с колееобразованием и уплотнением.

4. Достигнутым уровнем техногенеза лесозаготовительной техники (степенью совершенства по совокупности критериев) для обработки ПТ в координатах стоящего дерева (лесные комбайны и др.) и в координатах погрузочного пункта (процессоры) или в координатах лесопромышленного склада (машины циклично-поточной технологии). Иначе приоритет отдается тому ТП, комплект машин (машина) которого по совокупности показателей (свертке критериев) окажется эффективнее.

5. Социально-экономическими факторами, определяемыми либо наличием лесопромышленного склада и лесных стационарных поселков и, сопутствующих им, необходимостью содержания «коммуналки», налогов на недвижимость, платы за землю и пр.; либо при обработке ПТ в условиях лесосеки – наличием вахтовых поселков с временными неудобствами в условиях вахт, затратами на доставку персонала и постоянным проживанием персонала в условиях качества жизни города.

Для практических приложений перечисленные ограничения определяют способ заготовки и полной обработки древесины в координатах поваленного дерева с оставлением там же отходов без их транспортировки и дополнительных перемещений как наиболее эффективный по удельной энергоемкости. Обеспечивается это посредством комплектов машин, реализующих способы заготовки сортиментов и (или) пиломатериалов – харвестер-форвардер, моторный инструмент – трелевочное

средство и мобильные лесопильные установки. Теоретически, представленное заключение снимает пространственную неопределенность позиций размещения обрабатывающе-переместительных функций. Исходя из физической сущности процесса и энергетических показателей, однозначно определяется, что 1) процессы совершенно равнозначны при получении конечного состояния ПТ и в координатах растущего дерева и в координатах любой точки лесопромышленного склада при вертикальном положении дерева, далее 2) процессы, обрабатывающе-переместительные функции которых реализуются на лесосеке у пня в площади, покрываемой поваленным деревом, а на складе в любой позиции лесопромышленного склада в площади, покрываемой лежащим деревом. Далее этот список продолжается по аналогии в направлении менее эффективных уровней иерархии. Равнозначность процессов обеспечивается одинаковой степенью компактности размещения обрабатывающе-переместительных функций и обязательностью исключения потерь древесины при транспортировке, а также реализации всех компонентов ПТ, доставленных для обработки.

Разработанные патентно защищенные способы [5–7] на основе изложенного подхода и с учетом достигнутого уровня техногенеза апробированы опытно промышленными рубками или на тренажере–симуляторе. Первые два внедрены в производство.

В соответствии с представленным выше размещением обрабатывающе-переместительных функций, выстраивается ряд энергосберегающих машин заготовки и обработки древесины в направлении уменьшения эффективности, который реализуется на основе принципов комплектования и размещения комплектов машин по маршруту технологического процесса заготовки и обработки древесины. Основой для комплектования машин является наиболее эффективное размещение обрабатывающе-переместительных операций (функций) исходя из выбранного критерия в пространстве-времени маршрута ТП.

Из изложенного и рекомендаций по способам, изложенным выше, формулируются следующие принципы комплектования:

1) комплект машин формируется из перечня наиболее компактных по размещению обрабатывающе-переместительных функций: на лесосеке – (лесные комбайны с обработкой стоящих деревьев без приземления, далее харвадеры, харвестеры +прицепы или форвадеры, моторный инструмент + транспортные средства), на лесопромышленном складе – машины циклично поточной технологии и групповой обработки предмета труда.

2) в комплект включаются обрабатывающе-переместительные машины, которые реализуют операции в позициях максимально приближенных к дереву или к конечной точке маршрута технологического процесса (например, лесопромышленный склад);

3) в комплект включаются обрабатывающе-переместительные машины, которые в большей степени реализуют требование «дерево и полученные из него компоненты не должны приземляться (лесные комбайны, харвадеры, валочно-пакетирующие машины с прицепами)»;

4) транспорт древесины реализуется без отделения или потерь компонентов ПТ, то есть обрабатывающе-переместительные операции, кроме операций в начальной и конечной позиции маршрута ТП, не допускаются, а также исключаются транспортные машины, которые повреждают, отделяют и теряют древесину при ее перемещении, например трелевочные трактора при волочении или трелевке пачки в полупогруженном состоянии (сломыши, обдиры и так далее);

5) в комплекты не включаются машины для дополнительной перевалки древесины (различные погрузочно-разгрузочные устройства).

6) комплект «харвестер-форвардер» формируется с учетом стохастичности факторов, исходя из условия синхронизации по техническим параметрам машин, размерным и таксационным характеристикам лесосек и ограничениям на число проходов по одному следу по рейсовым нагрузкам форвардеров [8].

На основе перечисленных принципов формулируются обобщенные рекомендации, и выстраивается функциональный ряд машин заготовки и обработки древесины по критерию удельной энергоемкости от более эффективных к менее эффективным. Данный ряд представляется следующим образом:

– лесные комбайны или моторные инструменты, ведущие обработку в координатах вертикально расположенного дерева на лесосеке или лесопромышленном складе, и транспортные машины для сырья или полученной продукции;

– машины заготовки и обработки древесины или моторный инструмент, выполняющие обработку в пределах площади, покрываемой лежащим деревом на лесосеке (харвадеры, харвестеры + форвадеры, процессоры и т. д.) или лесопромышленном складе (машины циклично-поточной технологии или групповой обработки предмета труда) и так далее, в направлении большей распределённости по маршруту обрабатывающе-переместительных функций;

– наименее эффективным по критерию удельной энергоемкости является процесс с распределенными по маршруту обрабатывающе-переместительными функциями, представляемыми комплектом однооперационных машин (валочная, трелевочная, сучкорезная и погрузочная машины) или комбайнов, совмещающих обработку ПТ с его перемещением, в ходе которого отделенные отходы теряются или сбрасываются с машины.

Существующие серийные комплекты машин: валочно-пакетирующая машина + прицеп или (транспортная) трелевочная машина, харвестер + прицеп или форвадер и моторный инструмент – рекомендуется размещать с максимальным сдвигом к начальному состоянию процесса (к дереву) или наоборот, сдвигать к конечному (например, пиломатериал с сопутствующими компонентами ПТ) в той же степени компактности, что и у дерева. Исключаются без существенной необходимости промежуточные площадки, погрузочные пункты и другие аналогичные объекты, вызывающие дополнительные перевалки и дополнительные потерянны компоненты древесины. Для любых машин, реализующих режим перемещения с одной рабочей позиции на другую и выполняющих технологические действия (срезание и пакетирование деревьев, сбор и пакетирование деревьев, хлыстов, сортиментов и прочей лесопродукции) на рабочей позиции, может быть выполнено совмещение перемещений машины и обрабатывающе-переместительных действий рабочих органов во времени. Машины, совмещающие обрабатывающе-переместительные и транспортные операции, имеют повышенную производительность сравнительно с традиционными, работающими по циклу раздельного перемещения и обработки, и являются наилучшими по удельной энергоемкости.

Список литературы

1. Yakimovich, S. B., Teterina, M. A. Ways of conservation the natural environment and the intensification of logging round timber // IOP Conf. Series: EarthandEnvironmentalScience. V. 232. P. 9, 2019. DOI:10.1088/1755-1315/272/3/032026.
2. Якимович С. Б. Постановка и решение задачи синтеза и оптимального управления технологическими процессами лесозаготовок // Лесной Вестник (Issuenumbr 2542-1468). 2003. М. : МВТУ им. Н. Э. Баумана. № 5. С. 96–103.
3. Якимович С. Б., Ефимов Ю. В. Оценка эффективности систем маши и харвестерных агрегатов для заготовки древесины по фундаментальному критерию технолога – удельной энергоемкости // Лесной Вестник (Issuenumbr 2542-1468). 2020. М. : МВТУ им. Н. Э. Баумана. Т 24. № 1. С. 59–68.
4. Якимович С. Б. Оптимальное управление процессами лесозаготовок: уравнения состояний // Лесной Вестник (Issuenumbr 2542-1468). 2003. М. : МВТУ им. Н. Э. Баумана. № 3. С. 149–160.
5. Пат. на изобретение 2365093, Российская Федерация, МПК А01G23/02. Способ заготовки сортиментов машиной манипуляторного типа / Якимович С. Б. (RU), Груздев В. В. (RU), Крюков В. Н. (RU), Тетерина М. А. (RU). № 2008107195/12; заявл. 26.02.07; опубли. 27.08.2009, Бюл. №24. 2 с.
6. Пат. на изобретение 2467559, Российская Федерация, МПК А01G23/02. Способ заготовки сортиментов машиной манипуляторного типа с сохранением молодняка / Якимович С. Б. (RU), Груздев В. В. (RU), Свириденков А. Н. (RU), Тетерина М. А. (RU), Минай А. Я. (RU), Столяров А. М. (RU). № 2011125457/13; заявл. 20.06.2011; опубли. 27.11.2012, Бюл. №33. 3 с.
7. Пат. на изобретение №2741351, Российская Федерация, МПК А01G23/02. Способ заготовки сортиментов / Якимович С. Б. (RU), Савиных Т. И. (RU), Савиных М. А. (RU). № 2020117709, заявл. 18.05.2020; опубли. 20.01.2021, Бюл. №3. 9 с.: ил.
8. Якимович С. Б., Тетерина М. А. Моделирование стохастических обрабатывающее-транспортных систем с перемещаемыми запасами // Лесной Вестник (Issuenumbr 2542-1468). 2007. М. : МВТУ им. Н. Э. Баумана. № 6. С. 71–76.

