

УДК 630*372

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РУБОК ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Григорьев Игорь Владиславович

Доктор технических наук, профессор, Арктический государственный агротехнологический университет, г. Якутск, Россия
e-mail: silver73@inbox.ru

Куницкая Ольга Анатольевна

Доктор технических наук, профессор, Арктический государственный агротехнологический университет, г. Якутск, Россия
e-mail: ola.ola07@mail.ru

Должиков Илья Сергеевич

Кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: idolzhikov222@mail.ru

Трушевский Павел Владимирович

Директор ООО «Сибирский биоуголь», г. Калуга, Россия
e-mail: p.trushevskii@coal.bio

Швецов Александр Сергеевич

Соискатель, Арктический государственный агротехнологический университет г. Якутск, Россия
e-mail: shans23@mail.ru

Григорьева Ольга Ивановна

Кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: grigoreva_o@list.ru

Аннотация. В статье рассмотрены технологические процессы и системы машин рубок лесных насаждений (основных лесосечных работ), позволяющие минимизировать количество технологических операций, выполняемых в лесу,

добиться максимального выхода деловой древесины, максимально использовать весь эксплуатационный запас древесной фитомассы, находящейся на лесосеке. Суть рассматриваемой технологии, являющейся разновидностью сортиментной заготовки древесины, заключается в получении на лесосеке делового долготья, включающего комлевую и срединную часть стволов заготавливаемых деревьев, и вершинной части заготавливаемых деревьев с кроной. Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета. Часть материалов работы получена при выполнении исследований по гранту Российского научного фонда № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

Ключевые слова: рубки лесных насаждений, лесосечные работы, сортиментная технология заготовки древесины, деловое долготье, биотопливо.

RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY OF LOGGING

Grigorev Igor Vladislavovich

Doctor of Technical Sciences, Professor

Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

Kunitskaya Olga Anatolyevna

Doctor of Technical Sciences, Professor

Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

Dolzhikov Ilya Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia

Trushevsky Pavel Vladimirovich

Director of Sibirskiy Biougol LLC, Kaluga, Russia

Shvetsov Alexander Sergeevich

Applicant, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

Grigoreva Olga Ivanovna

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, St. Petersburg, Russia

Abstract. The article discusses the technological processes and systems of cutting machines for forest plantations (basic logging operations), which minimize the number of technological operations performed in the forest, maximize the yield of commercial timber, and maximize the use of the entire operational reserve of wood phytomass located in the cutting area. The essence of the technology under consideration, which is a type of graded timber harvesting, is to obtain a business longitude in the cutting area, including the root and middle part of the trunks of harvested trees, and the top part of harvested trees with a crown. The work was carried out within the framework of the scientific school "Innovative developments in the field of the logging industry and forestry" of the Arctic State Agrotechnological University. Some of the materials of the work were obtained during research under the grant of the Russian Science Foundation No. 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

Keywords: logging operations, logging operations, sorting technology of wood harvesting, business longitude, biofuels.

Предисловие. Материалы данной статьи посвящены памяти кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры Технология лесозаготовительных производств (ТЛЗП) Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии имени С.М. Кирова (СПбГЛТА), учителя и друга, Ивана Ивановича Тихонова.



Тихонов Иван Иванович, кандидат технических наук, доцент. 1942-2017 гг. В 15 лет ученик столяра, затем столяр, вечером школа рабочей молодежи. С 1960 по 1962 гг. – учеба в Ленинградском электромашиностроительном техникуме. С 1962 по 1967 гг. студент ЛЛТА. Выпускник Лесомеханического факультета. С 1967 по 1970 гг. – инженер ГИПРОБУМА. С 1970 – инженер проблемной лаборатории. С 1971 по 2017 гг. прошел трудовой путь от ассистента до доцента кафедры ТЛЗП.

И.И. Тихонов Подготовил и читал курсы «Технология и машины лесосечных работ», «Технология и машины лесоскладских работ», «Технология и оборудование лесозаготовок», «АСУТП», «Машины и оборудование лесозаготовок». Автор более 60 научных работ, и девяти патентов. Награжден медалями «Ветеран труда» и «100 лет профсоюзам России». Дважды участник ВДНХ (медаль, грамоты).

Шестикратный победитель спартакиад «Дружба» среди преподавателей и сотрудников лесотехнических ВУЗов России, неоднократный победитель первенства ВУЗов Ленинграда. Победитель чемпионата Европы среди баскетболистов-ветеранов 2012 г. За годы работы под руководством И.И. Тихонова выпускниками кафедры защищены более 200 дипломных проектов.

Именно Иван Иванович сформулировал [1-4] и продвигал концепцию рассматриваемой в настоящей статье технологии лесосечных работ. К великому сожалению, внезапная тяжелая болезнь не позволила ему реализовать задуманное.

Вместе с тем, анализ современных технологий и систем машин лесосечных работ показывает, что выдвинутые И.И. Тихоновым идеи перспективны, и безусловно заслуживают развития и практической апробации.

Авторы сделали попытку развить сформулированную И.И. Тихоновым технологическую концепцию, обозначить подходящие для ее реализации современные системы машин, включая одномашинные комплексы для основных лесосечных работ.

ВВЕДЕНИЕ. Заготовка древесины – один из древнейших технологических процессов, освоенных человеком. Простейшее жилье, топливо, средства передвижения по водным путям – плоты, орудия для охоты и ловли рыбы и т.д. изготавливались из древесины.

В настоящее время в век информационных технологий, потребность в древесине не уменьшается, а возрастает [5, 6]. Российский лесной комплекс сейчас в очень сложном положении, которое создалось по многим причинам. Регресс лесного комплекса России очевиден: уменьшились объемы заготовки; исчезла вывозка древесины деревьями, которая позволяла исключить обрезку сучьев и раскряжевку в лесу и вывезти с одной и той же лесопокрытой площади на 10-20% больше древесины, чем при вывозке хлыстами или сортиментами. Правила дорожного движения по дорогам общего пользования ограничивают длину лесовозного автопоезда, не превышающую 18,75 м [7].

Древесина кроны менее ценная, чем стволовая, однако топливная щепа, которую можно и нужно производить и из кроны, вполне применима для производства тепловой энергии и электроэнергии [8]. Попытки производить щепу из кроны и других порубочных остатков мобильными рубительными машинами на лесосеках или в верхних складах оказались очень затратными. Сбор порубочных остатков, измельчение и транспортировка щепы в сумме чаще убыточна.

Сортиментная вывозка древесины вполне целесообразна при наличии густой сети лесовозных дорог общего назначения, и большого количества лесоперерабатывающих предприятий в зоне автомобильной доступности, так как в

этом случае уменьшается, а иногда и ликвидируются дополнительные перегрузки древесины [9]. Такие условия есть только в некоторых регионах России: Карелии, Ленинградской области, некоторых центральных и южных областях Европейской части России. Плотность лесотранспортной сети существенно влияет на экономические показатели лесопользования. Чем выше плотность лесной дорожной инфраструктуры, тем выше доход государства за счет эффективного пользования лесным ресурсом, меньше затраты на заготовку и вывозку древесины.

Особо следует отметить важность обеспеченности дорожной сетью участков лесного фонда, отведенных для организации выборочных рубок. В случае труднодоступности лесных ресурсов проведение выборочных рубок нерентабельно. Объем сплошных рубок в России составляет более 90%, однако в обозримом будущем он должен сократиться на 20–30%, уступая выборочным рубкам.

Вывозка древесины от мест заготовки до потребителя осуществляется как по лесным дорогам, так и по дорогам общего пользования. Таким образом, на экономическую составляющую лесозаготовки влияет плотность дорог, прежде всего, автомобильных [10].

В развитых лесообеспеченных странах плотность лесных дорог составляет от 25 до 40 км/1000 га лесной площади (в Германии – 24 км/1000 га, в Финляндии – 25 км/1000 га).

Учитывая, что в настоящее время значительная площадь лесов не эксплуатируется из-за неразвитости дорожной сети, было бы объективным сравнение плотности лесной транспортной инфраструктуры не всей лесопокрытой площади, а относительно величины расчетной лесосеки [11].

Исследования, проводимые российскими учеными, показали, что для обеспечения эффективного ведения лесного хозяйства и лесопользования, в первую очередь, лесозаготовки, необходимо иметь плотность дорожной сети не менее 10–12 км/1000 га. Исходя из этих данных, в России необходим наличие более 9 млн.км. лесных дорог, в то время, как сегодня эта цифра составляет порядка 1,8 млн. км [12].

К системе выборочных рубок относятся рубки спелых и перестойных насаждений, при которых периодически вырубается часть деревьев определенного возраста, размеров, качества или состояния. В каждую рубку производится изъятие спелых деревьев старшего поколения при сохранении разновозрастной структуры и устойчивости древостоя. Интенсивность этих рубок иногда может составлять до 70%, а количество поврежденных деревьев не должно превышать 3%, при этом на участках сохраняются деревья, оставляемые на добрачивание.

Технологический процесс лесосечных работ определяется числом операций, выполняемых на лесосеке или погрузочном пункте, характером этих операций и последовательностью их выполнения.

Целью работы является анализ технологических процессов и систем машин для лесосечных работ при вывозке древесины в виде полудеревьев, то есть комлевого отрезка дерева, например, длинномерного пиловочного долготя и вершинного отрезка с кроной.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Материалы данной статьи получены путем анализа литературных источников и анализа производственного опыта в области проведения рубок лесных насаждений.

РЕЗУЛЬТАТЫ. В настоящее время во многих регионах Сибири и Дальнего Востока, например, Красноярский край, Республика Саха (Якутия), в связи со значительной удаленностью деревоперерабатывающих предприятий, при проведении рубок лесных насаждений заготавливаются и вывозятся только комлевая и срединная части древесных стволов.

Согласно определению, хлыст – это стволовая часть дерева, отделенная от корней, очищенная от сучьев, с обрезанной вершиной, в том месте, где диаметр ствола составляет 6-8 см [13].

Вершинный диаметр хлыста, по мере развития технологических процессов и оборудования деревопереработки, постепенно уменьшается.

Как известно, ствол дерева, условно, принято делить на комлевую, срединную и вершинную части. Комлевая часть характеризуется большими диаметрами и сбегом, отсутствием сучьев. Срединная часть характеризуется средними диаметрами, малым сбегом и малым числом сучьев. Вершинная часть характеризуется малыми диаметрами, большим сбегом, большим числом сучьев.

Самыми товарно-ценными частями хлыстов являются комлевые и срединные, из которых получают наиболее ценные сортименты – пиловочные и строительные бревна, фанерный кряж, и т.д.

Вершинная часть хлыстов, основным достоинством которой является практически 100% отсутствие внутренней гнили, в большей части случаев идет на производство одного из самых дешевых видов сортиментов – балансов, из которых в древесно-подготовительных цехах деревоперерабатывающих предприятий (ЦБК, плитных заводов, и т.д.) производят технологическую щепу.

В европейской части России таких деревоперерабатывающих предприятий достаточно много, поэтому фитомасса заготовленных древесных стволов используется в значительно степени.

В регионах Сибири и Дальнего Востока, например, Красноярский край, Республика Саха (Якутия), таких деревоперерабатывающих предприятий мало,

поэтому вывозить с лесосек вершинную, а тем более кроновую части заготовленных деревьев экономически не выгодно.

В настоящее время в России и в мире преобладают технологические процессы сортиментной заготовки древесины, в результате которых с лесосек вывозятся полученные из стволов заготовленных деревьев сортименты различного назначения.

Сортиментная группа технологических процессов лесосечных работ предусматривает выполнение на лесосеке (на пасеке – скандинавская технология, или на верхнем складе – канадская технология) операции раскряжевки.

При технико-экономической оценке таких технологических процессов необходимо учитывать два негативных фактора:

Во-первых, КПД привода технологического оборудования, в том числе и пил, от двигателей внутреннего сгорания (ДВС) значительно меньше, чем от электродвигателей стационарных установок лесопромышленных складов, включая раскряжевочно-сортировочные.

Во-вторых, при выполнении раскряжевки основной задачей является получение максимального товарного выхода деловой древесины, т.е. выпиловка максимально дорогостоящих сортиментов из имеющихся в портфеле заказов лесозаготовительного предприятия (сортиментного плана). К каждому виду сортиментов заказчиком – деревоперерабатывающим предприятием – выдвигаются требования по породе (породам), размерам, и порокам древесины. Пороки древесных стволов подразделяются на внешние и внутренние (скрытые). Далеко не все скрытые пороки, например, наличие внутренней гнили ствола от морозобойной трещины возможно учесть при составлении плана раскояя ствола для раскряжевки на лесосеке. В результате неоптимальной для конкретного древесного ствола схемы раскояя при раскряжевке в брак уходит значительное количество древесины, особенно при рубках перестойных насаждений.

Современные раскряжевочно-сортировочные стационарные установки лесопромышленных складов все чаще оснашают рентген-сканерами со специальными пакетами прикладных программ (ППП), которые позволяют оптимизировать раскрай каждого древесного ствола, добиваясь практически 100% возможного выхода деловой древесины.

В связи с тем, что вывозить целые древесные хлысты по дорогам общего пользования, согласно действующим Правилам дорожного движения (ПДД) нельзя, строить свои лесные дороги для большинства лесозаготовительных предприятий России чрезмерно дорого, а также в связи с тем, что в ряде регионов России вывозить вершинные части древесных хлыстов нерентабельно, была предложена технология заготовки древесины полудеревьями.

Она предусматривает деление заготовленных деревьев на два отрезка – комлевой (нижний), включающий комлевую и срединную части ствола – от комля, до диаметра 14-16 см, и вершинный (верхний), включающий вершинную часть хлыста с кроной (сучьями, ветвями, ассимиляционным аппаратом).

Такая технология имеет следующие основные преимущества:

Во-первых, уменьшается энергоемкость основных лесосечных работ, за счет сокращения числа резов раскряжевки до одного, а также за счет значительно сокращения энергозатрат на обрезку сучьев.

Во-вторых, повышается производительность основных лесосечных работ, за счет сокращения объемов выполняемых операций, указанных в предыдущем пункте.

В-третьих, при раскряжевке нижнего отрезка – делового долготя, на современных стационарных раскряжевочно-сортировочных установках лесопромышленных складов значительно повышается выход товарно-ценной деловой древесины, иначе говоря доходность лесозаготовительного производства.

Как было отмечено выше, заготовка древесины полудеревьями является разновидностью технологических процессов сортиментной группы, которая включает в себя следующие виды основных работ: валка деревьев (В), трелевка (Tr), очистка деревьев от сучьев (Ос), раскряжевка (Р), при рассматриваемой технологии – деление (Дл).

При заготовке древесины полудеревьями очистка деревьев от сучьев выполняется не полностью, а только до верхнего реза нижнего отрезка – делового долготя. И, в ряде случаев, например, в сосновых древостоях [14], может быть совсем исключена. Впрочем, такой вариант скорее исключение из правил.

Согласно теории технологических процессов лесосечных работ (рубок лесных насаждений), возможные технологические цепочки заготовки древесины полудеревьями можно записать следующим образом:

Канадский вариант: В-Тр-Ос+Дл.

Скандинавский вариант: В-Ос+Дл-Тр.

Операции штабелевки и дальнейшей погрузки нижних и верхних отрезков на лесовозный транспорт в данном случае не учитываются, поскольку они предусматриваются практически всеми технологическими процессами лесосечных работ (рубок лесных насаждений).

Также отметим, что в современных природно-производственных условиях ряда регионов Сибири и Дальнего Востока вывозка верхних отрезков (вершин деревьев с кроной) с территории лесосеки будет экономически убыточной.

Рассмотренные технологические цепочки могут выполняться как машинным, так и механизированным способом. Причем канадский вариант следует выполнять только машинным способом.

Известная в сортиментной группе технологических процессов лесосечных работ цепочка: В-Ос-Тр-Р, для заготовки полудеревьев нецелесообразна, поскольку очистка всего древесного ствола от сучьев не предусматривается, следовательно, трелевку все равно придется выполнять за комлевую часть.

При машинной заготовке древесины полудеревьями по скандинавской технологии могут использоваться классические двухмашинные комплексы, включающие харвестер и форвардер. Основной проблемой в данном случае является приспособленность форвардера для сбора и трелевки длинномерного делового долготья. Также могут использоваться и одномашинные комплексы – харвардеры и форвестеры [15], опять-таки с тем условием, что их кузов приспособлен для сбора и трелевки делового долготья, размер которого будет зависеть от таксационных характеристик вырубаемых лесных насаждений.

Поскольку при заготовке древесины полудеревьями харвестер (харвардер, форвестер) выполняют только один раскряжевочный рез для деления спиленного дерева на два отрезка, то по сути они в данном режиме становятся валочно-делительными машинами (ВДМ).

Возможен и смешанный вариант полумеханизированной-полумашинной заготовки древесины, предусматривающий механизированную валку деревьев, и использование на пасеках (скандинавская технология), или на верхнем складе (канадская технология) самоходных сучкорезно-раскряжевочных машин (процессоров) вальцового или импульсного типов. В первом случае сбор и трелевка полученных на пасеках верхних и нижних отрезков деревьев будет выполняться в полностью погруженном положении форвардерами, во-втором – в полупогруженном – чокерными, или бесчокерными трелевочными тракторами [16].

Для варианта механизированной заготовки полудеревьев (В-Ос+Дл-Тр) И.И. Тихоновым была предложена схема, предусматривающая раздельные сбор и трелевку нижнего и верхнего отрезков заготовленных деревьев (рисунки 1-3).

И.И. Тихонов указывал, что при необходимости сохранения подроста или в случае выборочных рубок, нижний отрезок дерева надо перемещать вдоль оси ствола, чего можно достичь путем правильного расположения форвардера (рисунок 3). После подтаскивания комлевого отрезка к форвардеру, оператор перехватывает захватом манипулятора, отрезок за центр тяжести и поднимая, укладывает его в кузов.

При наличии сучьев на комлевом отрезке их надо обрезать. Эту операцию, как и деление дерева на два отрезка, может выполнять вальщик, оснащенный рулеткой и мерной скобкой или вилкой. Вальщик должен учитывать возможность получения сортиментов из нижнего отрезка, то есть знать сортиментный план, а также размерные и качественные требования к сортиментам. Нижний отрезок может быть равен длине сортимента, или длине кратной длинам сортимента (ов) с учетом припусков на раскряжевку.

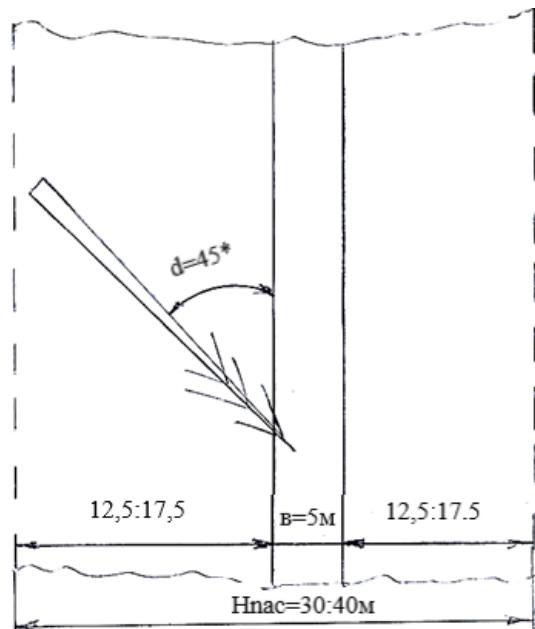


Рис.1. Схема валки деревьев вершинами на волок

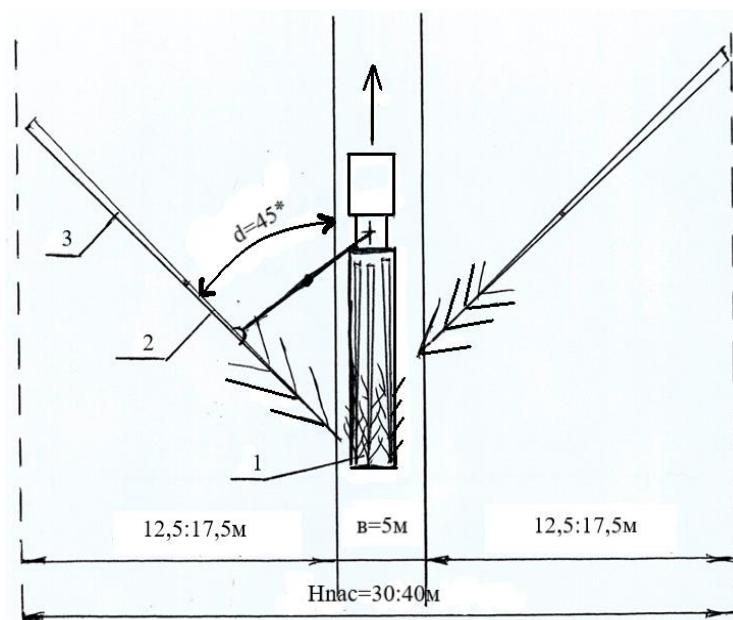


Рис. 2. Схема разработки пасеки при наборе воза вершинных отрезков деревьев:

- 1 – трелевочная машина;
- 2 – вершинный отрезок дерева;
- 3 – комлевой отрезок дерева

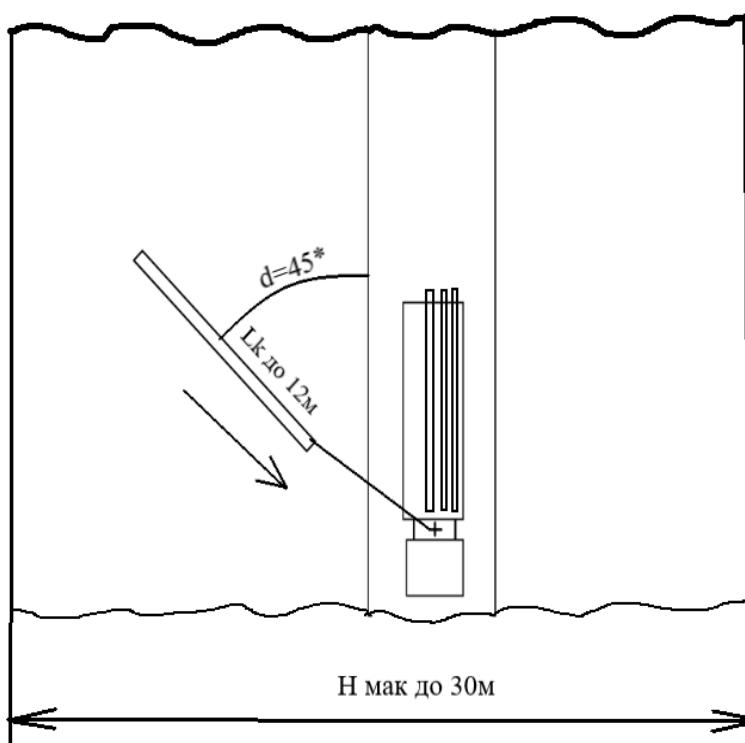


Рис. 3. Схема разработки пасеки при подтаскивании и погрузке комлевых отрезков

Ширина пасеки зависит от возможностей трелевочной техники, высоты дерева, угла примыкания оси дерева к направлению волока и требований Правил заготовки древесины, ограничивающих площадь волоков и дорог величиной не более 20% при сплошных рубках, однако при сплошных рубках с применением многооперационной техники допускается увеличение площади под волоками до 30. Минимальная ширина пасеки зависит от длины дерева $L_{дер.}$ и угла примыкания дерева к волоку α и выражается зависимостью

$$H < 2L_{дер.} * \sin \alpha, \quad (1)$$

при максимальном угле $\alpha = 45^\circ$

$$H = 1.412 * L_{дер.}, \quad (2)$$

Ширина пасеки H может быть больше на величину двойного вылета манипулятора, или двойную длину собирающего каната в случае трелевки чокерными тракторами.

Минимальная ширина пасеки H_{min} ограничивается правилом заготовки древесины из-за ограничения отношения площади пасеки S к площади волока B , что составляет не более 15%. Следовательно, для выборочных рубок справедливо выражение:

$$\frac{H}{B} \geq \frac{100\%}{15\%} = 6.67, \quad (3)$$

Минимальная ширина пасеки H_{min} при различных значениях размера волока представлена в таблице 1.

Таблица 1

Минимальная ширина пасеки при выборочных рубках

$B, \text{ м}$	3	4	5
$H_{min}, \text{м}$	20,05	26,68	33,3

Для сплошных рубок отношение площади пасеки к площади волока составляет 20%. Следовательно, выдерживается соотношение:

$$\frac{H}{B} \geq \frac{100\%}{20\%} = 5, \quad (4)$$

Минимальные размеры ширины лесосеки H_{min} при различных значениях ширины волока представлены в таблице 2.

Таблица 2

Минимальная ширина пасеки при сплошных рубках

$B, \text{ м}$	3	4	5
$H_{min}, \text{м}$	15	20	25

При наборе воза нижних отрезков ширина пасеки ограничивается как размерами комлевых отрезков L_{kom} , так и величиной вылета манипулятора R (рис. 3) и выражается зависимостью:

$$H_{max} < 2(L_{kom} \cdot \sin \alpha + R \sin \alpha), \quad (5)$$

величина вылета манипулятора R практически не превышает 10 м.

Ширина пасеки H при различных длинах L_{kom} и вылетах гидроманипулятора R представлена в таблице 3. Все величины в метрах.

Таблица 3

Величины ширины пасеки при различных длинах комлевых отрезков и вылетах гидроманипулятора

$L_{kom} \backslash R$	5	6	7	8	9	10
11	22.6	24.04	25.5	26.9	28.3	29.7
13	25.5	26.9	28.3	29.7	31.1	32.3

Как было указано выше, заготовка древесины полудеревьями может выполняться машинным способом, что предпочтительнее, по канадской, или скандинавской технологии. В первом случае возможно использование классического трехмашинного лесозаготовительного комплекса, включающего валочно-пакетирующую машину (ВПМ), трактор с пачковым захватом (ТПЗ) и процессор. Возможен вариант двухмашинного лесозаготовительного комплекса,

включающего валочно-трелевочную машину (ВТМ) и процессор. Кроме того, заготовка полудеревьев по канадской технологии возможна и одномашинным лесозаготовительным комплексом – валочно-трелевочно-процессорной машиной (ВТПМ).

Перечень машин для заготовки полудеревьев скандинавским способом рассмотрен выше.

В любом случае, поскольку заготовка древесины полудеревьями является разновидностью сортиментной заготовки древесины, получаемые нижние и верхние отрезки деревьев следует укладывать на верхнем складе (погрузочном пункте) в штабели различных групп сортировки, например, как это показано на рисунке 4.

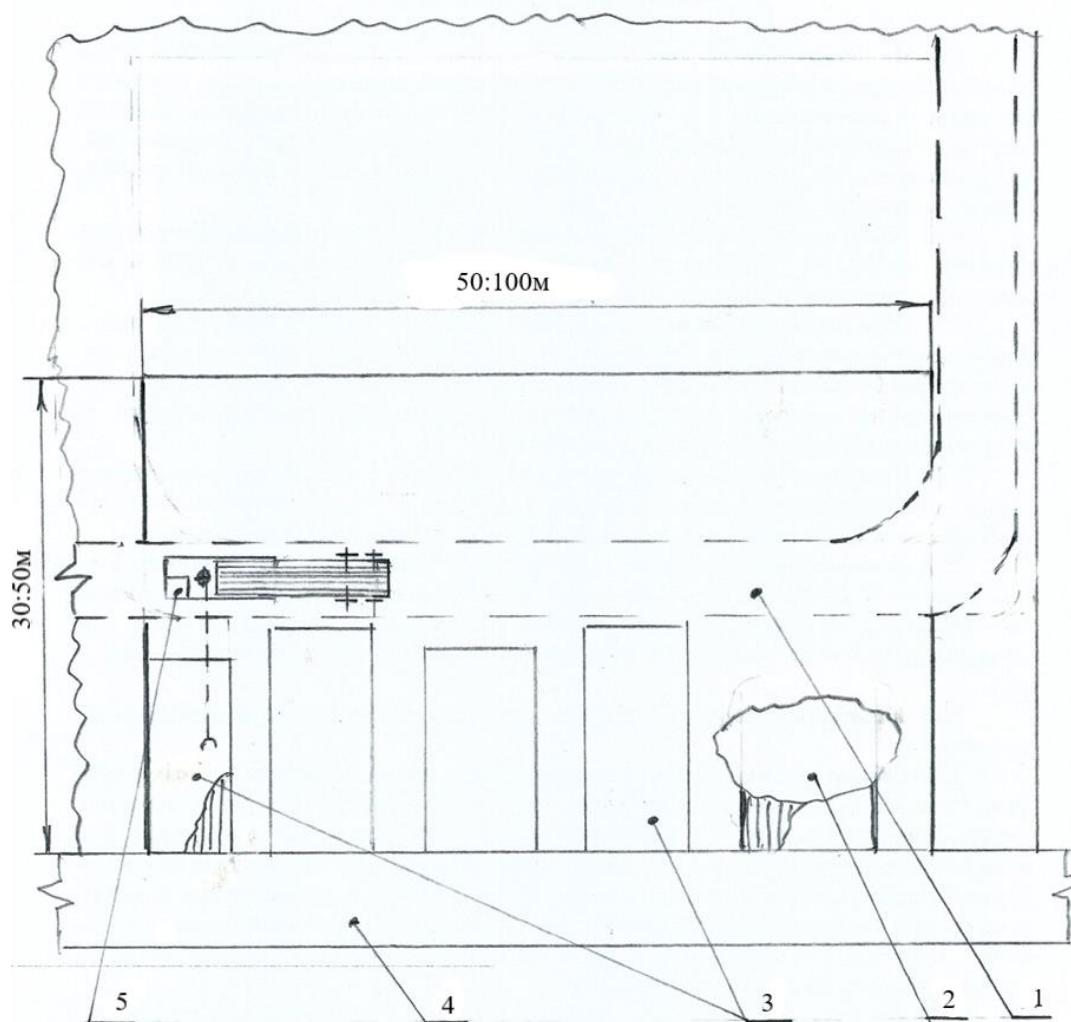


Рис. 4. Планировка верхнего склада (погрузочного пункта) при заготовке и вывозке древесины полудеревьями:

1 - магистральный трелевочный волок; 2- штабель вершинных отрезков; 3- штабели нижних отрезков; 4- ус лесовозной дороги; 5- трелевочный трактор

И.И. Тихонов указывал, что так как общая площадь под погрузочные пункты, производственные и бытовые объекты ограничиваются для лесосек площадью больше 10 га, не более 5% о при сплошных рубках и не более 3% при выборочных рубках для лесосек площадью 10 га и менее величиной 0,25 га, то это необходимо учитывать при выборе схемы разработки лесосек, т.е. проверять количество погрузочных пунктов и их размеры или на предмет соответствия их площади вышеуказанным требованиям Правил заготовки древесины.

Для того, чтобы площадь пасечных, магистральных волоков не превышала 15% площади лесосек, необходимо назначить ширину пасеки h больше ширины волока в 6,7 раза. Если ширина волока $b=5\text{м.}$, то ширина пасеки $h>34 \text{ м.}$

При использовании на заготовке ВДМ на базе полноповоротных ВПМ имеющих ограниченный вылет манипулятора R , позволяющий разрабатывать пасеку шириной $2R$, соотношении ширины пасеки к ширине волока должно быть не менее 6,7 т.е.

$$2R/b>6,7. \quad (6)$$

Минимальная ширина волока b не может быть меньше ширины лесозаготовительных машин ВДМ и трелевочных тракторов. В случае, если двойной вылет манипулятора не обеспечивает необходимое по требованию Правил рубок соотношение, необходимо увеличивать ширину пасеки, т.е.

$$2R+\Delta/b>6,7. \quad (7)$$

Откуда следует, что:

$$\Delta = 6,7b - 2R. \quad (8)$$

При использовании машин, с определенными величинами b и R рассчитывается значение ширины пасеки, что необходимо для правильной разметки лесосеки, позволяющей выполнить требование Правил заготовки древесины.

При ширине волока $b=3,15 \text{ м.}$ сложно обеспечить трелевку полудеревьев без значительных повреждений стволов деревьев, расположенных рядом с волоками. В случае вариантов технологического процесса с трелевкой полудеревьями, трелевка должна производится только в погруженном положении как комлевых, так и вершинных отрезков, причем для трелевки вершинных отрезков, стойки кузова форвардера должны быть широкими и подвижными, чтобы обеспечить многоступенчатое уплотнение воза и повышение грузоподъемности трелевочной машины и уменьшением возможности повреждения стволов деревьев, расположенных у волока.

В местах поворота трелевочных машин, волока необходимо уширить до 5 – 6 м., именно в удаленных концах волоков, а также при примыкании пасечных

волоков к магистральному волоку, чтобы обеспечить маневрирование трелевочных машин даже с полудеревьями без повреждения деревьев на пасеках.

Уменьшить повреждаемость деревьев и подроста можно при трелевке вершинных и комлевых отрезков к двум усам. При этом ВДМ работают без холостых ходов, а трелевочные машины выполняют повороты только в местах примыкания пасечных волоков к магистральным волокам.

На сплошных рубках при использовании ВДМ допускается увеличение площади под волока до 30% общей площади лесосек, то есть ширина пасеки (ленты) должна быть больше ширины волока в 3,34 раза.

Например, для ВДМ с шириной машины и волока в 3,15 м и максимальным вылетом манипулятора $R=8$ м расчетная величина Δ имеет отрицательное значение.

В этом случае ВДМ может обрабатывать все деревья на лесосеке. При ширине волока в 5 м., ширина пасеки $H_{\text{пасеки}}$ должна быть не менее $H > 5 \times 3,34 = 16,7$ м., что позволяет ВДМ с вылетом манипулятора равным или более 8 м., обрабатывать практически все деревья на лесосеке. Сохранность подроста обеспечивается выносом срезанных деревьев в вертикальном положении и делением деревьев на два отрезка над волоком. Возможно повреждение подроста ЗСУ машины, при наведении его на деревья. Но квалифицированный оператор ВДМ сможет свести к минимуму такие повреждения.

Вопрос эффективного использования вершинных отрезков полудеревьев является весьма неоднозначным. При отсутствии вблизи мест заготовки древесины потребителей балансовой и топливный древесины их придется только сжечь, в пожаробезопасный период, или использовать для укрепления лесовозных усов.

При организации вблизи от мест заготовки древесины лесных терминалов (непостоянных лесопромышленных складов), они могут быть использованы для получения тепловой и электрической энергии, например, путем их переработки в короткоживущие топливные брикеты для газогенераторов [17].

Заключение. Анализ показывает, что технологические процессы заготовки древесины полудеревьями являются незаслуженно игнорируемым вариантом технологических процессов сортиментной группы лесосечных работ.

Их можно и нужно рекомендовать к практической апробации при использовании различных систем машин канадского и скандинавского метода, как классических, так и одномашинных.

По результатам данной апробации возможно будет проводить опытно-конструкторские работы для совершенствования машин и механизмов рубок лесных насаждений.

Литература

1. Локштанов Б.М., Тихонов И.И., Полейчук А.Л. Новые технологические процессы лесозаготовок и производства щепы из лесосечных отходов // Актуальные проблемы развития лесного комплекса. материалы Международной научно-технической конференции. Министерство образования и науки РФ; Правительство Вологодской области; Департамент лесного комплекса Вологодской области; Вологодский государственный университет. 2016. С. 22-26.
2. Тихонов И.И., Кухарева Д.С., Андрюхина Д.В. Технологический процесс заготовки древесины полудеревьями // Актуальные проблемы развития лесного комплекса. Материалы Международной научно-технической конференции. Министерство образования и науки РФ, Правительство Вологодской области, Вологодский государственный университет, Департамент лесного комплекса Вологодской области. 2015. С. 61-62.
3. Тихонов И.И., Песков В.Б. Транспорт для вывозки полудеревьев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 8-2 (19-2). С. 439-443.
4. Тихонов И.И. Заготовка древесины полудеревьями. - СПб.: СПбГЛТУ, 2013. - 108 с.
5. Шапиро В.Я., Шапиро Е.И. Аналитика и интерпретация информации о растущих показателях в лесной отрасли СЗФО РФ // Фактуальные проблемы и перспективы развития экономики. Симферополь, 2023. С. 72-74.
6. Анохин Р.А., Виноградова Е.А., Суворов С.А., Каримов Б.М., Кныш С.А., Царёв А.Д., Скубак А.С., Синов А.Д., Макаров А.А., Шапиро В.Я. Автоматизация расчётов технологических параметров при создании модифицированных лесных материалов // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2022. № 62. С. 338-341.
7. Макунина Я.С., Баранов А.Н. Повышение эффективности использования лесовозных автопоездов за счет расширения рабочей сферы // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием). Красноярск, 2024. С. 118-121.
8. Ступаков З.Д., Баранов А.Н. Технология производства древесного топлива для электросиловых установок // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием). Красноярск, 2024. С. 139-140.

9. Абрамов Н.А., Михайлов И.Р., Баранов А.Н. Повышение эффективности лесовозных автопоездов за счет усовершенствования грузоподъемного оборудования // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием). Красноярск, 2024. С. 96-99.
10. Косова К.В., Баранов А.Н. Обоснование эффективности транспорта леса за счет регулирования очередности поставки // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием). Красноярск, 2023. С. 159-161.
11. Тараканенко Е.А., Баранов А.Н. Аспекты устойчивости цепей поставок // Транспорт и логистика: актуальные вопросы, проектные решения и инновационные достижения. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2023. С. 188-192.
12. Ковалев Р.Н., Баранов А.Н., Бровкин С.А., Еналеева-Бандура И.М. Оценка эффективности использования лесотранспорта на вывозке древесины с учетом уровня развитости сети лесных дорог // Деревообрабатывающая промышленность. 2023. № 3. С. 47-54.
13. Ивашкевич С.Р., Карнаухов А.Ю., Баранов А.Н. Математическое моделирование для поиска схемы раскрытия с максимальным стоимостным выходом продукции // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием). Красноярск, 2023. С. 150-152.
14. Маганов И.А., Тихонов Е.А., Петруша С.В., Трушевский П.В., Куницкая О.А. Эффективное использование порубочных остатков в энергетических целях на лесных терминалах // Инженеры России и Беларуси: сила в сотрудничестве. Материалы Международной научно-практической конференции. Архангельск, 2024. С. 153-156.
15. Кондрашова Д.В., Григорьева О.И., Мыщак Г.Я. Влияние ухода за лесом на общую производительность сосновых древостоев // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2014. № 6-1. С. 162-164.
16. Григорьев И.В., Никифорова А.И., Григорьева О.И. Сравнение одномашинных комплексов для сортиментной заготовки древесины // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 9-2 (20-2). С. 125-128.

17. Помигуева А.И., Куницкая О.А., Швецов А.С., Должиков И.С., Курочкин П.А.
Обоснование целесообразности использования бесчокерных трелевочных
тракторов на лесосечных работах // Вестник АГАТУ. 2024. № 3 (15). С. 44-102.

© Григорьев И.В., Куницкая О.А., Должиков И.С., Трушевский П.В.,
Швецов А.С., Григорьева О.И., 2025