

Технологические процессы сплошных и выборочных рубок леса при помощи универсальных лесозаготовительных машин

О.А. Куницкая^{1a}, А.А. Кривошеев^{2b}, А.С. Швецов^{3c}, М.В. Степанищева^{4d}, С.И. Ревяко^{5e}, В.П. Друзьянова^{6f}

¹ Арктический государственный агротехнологический университет, Сергеляхское шоссе, 3, Якутск, Республика Саха (Якутия)

² Ухтинский государственный технический университет, ул. Первомайская, 13, Ухта, Республика Коми

³ Филиал Военно-воздушной академии им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Маршала Жукова, 1, Сызрань, Россия

⁴ Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

⁵ Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт, ул. Пушкинская, 111, Новочеркасск, Россия

⁶ Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского, 58, Якутск, Республика Саха (Якутия)

^a ola.ola07@mail.ru, ^b ugtukrivosheev@mail.ru, ^c Kapitan2304@yandex.ru, ^d marina01031977@inbox.ru

^e revyako77@mail.ru, ^f druzvar@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-8542-9380>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-1708-7873>, ^c <https://orcid.org/0009-0003-3724-7082>,

^d <https://orcid.org/0000-0003-4867-3901>, ^e <https://orcid.org/0000-0001-7362-5042>, ^f <https://orcid.org/0000-0001-5409-3837>

Статья поступила 09.11.2023, принята 13.11.2023

Для мелких и малообъемных лесозаготовительных предприятий, которые преобладают в лесном комплексе Российской Федерации, в условиях острого дефицита вальщиков леса универсальные лесозаготовительные машины (одномашинные лесозаготовительные комплексы) являются одним из наиболее предпочтительных вариантов для проведения лесосечных работ как при сплошных, так и при выборочных рубках леса. По сравнению с классическими многомашинными лесозаготовительными комплексами, например, харвестер и форвардер, они требуют значительно меньше капиталовложений, операторов, затрат на их перемещение с лесосеки на лесосеку, что при дефрагментированном лесосечном фонде (с преобладанием небольших по площади и ликвидному запасу древесины лесосек), свойственном для таких предприятий, является достаточно значимым фактором. В статье рассмотрены современные варианты универсальных лесозаготовительных машин — харвардеры, форвестеры и валочно-трелевочно-процессорные машины. Рассмотрены технологические схемы разработки лесосек при помощи этих машин. Рассмотрены варианты использования универсальных лесозаготовительных машин при включении их в состав многомашинных лесозаготовительных комплексов в случае необходимости значительного увеличения объема заготовки древесины в единицу времени. Показано, что валочно-трелевочно-процессорные машины имеют большую вариативность технологического использования, чем харвардеры и форвестеры, в частности в том, что они могут быть задействованы как на скандинавской, так и на канадской технологии лесосечных работ.

Ключевые слова: лесосечные работы; системы машин для лесосечных работ; одномашинные лесозаготовительные комплексы; лесозаготовительные машины; машинная заготовка древесины.

Technological processes of clear and selective logging using universal logging machines

O.A. Kunitskaya^{1a}, A.A. Krivosheev^{2b}, A.S. Shvetsov^{3c}, M.V. Stepanishcheva^{4d}, S.I. Revyako^{5e}, V.P. Druz'yanova^{6f}

¹ Arctic State Agrotechnological University; 3 km, Sergelyakhskoye Shosse, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia)

² Ukhta State Technical University; 13, Pervomayskaya St., Ukhta, Republic of Komi

³ Branch of Air Force Academy named after N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin; 1, Marshal Zhukov St., Syzran, Russia

⁴ Bratsk State University; 40, Makarenko, Bratsk, Russia

⁵ Novochoerkassk Engineering and Reclamation Institute named after A. Kortunov; 111, Pushkinskaya St., Novochoerkassk, Russia

⁶ North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov; 58, Belinsky St., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia)

^a ola.ola07@mail.ru, ^b ugtukrivosheev@mail.ru, ^c Kapitan2304@yandex.ru, ^d marina01031977@inbox.ru,

^e revyako77@mail.ru, ^f druzvar@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-8542-9380>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-1708-7873>, ^c <https://orcid.org/0009-0003-3724-7082>,

^d <https://orcid.org/0000-0003-4867-3901>, ^e <https://orcid.org/0000-0001-7362-5042>, ^f <https://orcid.org/0000-0001-5409-3837>

Received 09.11.2023, accepted 13.11.2023

For small and low-volume logging enterprises that predominate in the forest complex of the Russian Federation, in conditions of an acute shortage of forest fellers, universal logging machines (single-machine logging complexes) are one of the most preferred options for carrying out logging operations, both in continuous and selective logging. Compared with classic multi-machine logging complexes, for example, harvester and forwarder, they require significantly less capital investment, operators, and the cost of moving them from one cutting area to the other, which, with a defragmented cutting fund (with a predominance of small-area and liquid wood supply of cutting areas), characteristic of such enterprises, is quite a significant factor. The article considers modern variants of universal logging machines – harvesters, forwarders, and felling-skidding-processing machines. Technological schemes for the development of cutting areas with the help of these machines are studied. Options for using universal logging machines are regarded when including them in multi-machine logging complexes if it is necessary to significantly increase the volume of wood harvesting per unit of time. It is shown that felling-skidding-processing machines have a greater variability of technological use than harvesters and forwarders, in particular, they can be used both on Scandinavian and Canadian technology of logging operations.

Keywords: logging operations; machine systems for logging operations; single-machine logging complexes; logging machines; machine wood harvesting.

Введение. В Российской Федерации подавляющее большинство юридических лиц, имеющих в ОКВЭД уставной деятельности направление «лесозаготовка», и занимающихся этим видом деятельности относится по объему данного производства к мелким, т. е. заготавливающим до 100 тыс. м³ древесины в год. Более того, подавляющая часть таких лесозаготовительных предприятий и организаций относится даже не к мелким, а к малообъемным, с объемом заготовки древесины до 25 тыс. м³ в год [1]. Ярким примером этой ситуации может служить лесозаготовительная отрасль Республики Саха (Якутия), в которой даже крупнейшее в республике комплексное лесопромышленное предприятие ООО «Алмаз» заготавливает и перерабатывает около 80 тыс. м³ древесины в год. Оставшиеся лесозаготовительные предприятия, в большей части ИП, заготавливают не более 15 тыс. м³ древесины в год [2].

При таких небольших объемах заготовки древесины, часто в условиях сильно дефрагментированного лесосечного фонда, включающего в себя разрозненные, небольшие по площади и запасу ликвидной древесины лесосеки, использование высокопроизводительных машинных комплексов, например, валочно-пакетирующая машина (ВПМ) + скиддер + процессор, или харвестер + форвардер, не имеет никакого экономического смысла, поскольку большую часть времени эти достаточно дорогие машины будут простаивать и приносить убыток, а не доход [3–5].

Традиционно, малообъемные лесозаготовки ориентированы на сортиментную механизированную заготовку древесины, которую осуществляют вальщики леса при помощи бензиномоторных пил [6]. Они могут работать по скандинавской технологии (под форвардер), производя валку деревьев, обрезку сучьев, и раскряжевку на пасаеке, после чего форвардер собирает заготовленные сортименты, трелюет их на погрузочный пункт, и раскладывает в соответствующие штабели групп сортиментов [7; 8]. Могут работать по технологии с трелевкой хлыстов — когда на пасаеке производится валка деревьев вершинами на волок, обрезка сучьев, с укладкой кроновой части на трелевочные волокна, последующая трелевка хлыстов за вершины, и их раскряжевка на верхнем складе бензомоторными пилами на разделочно-раскаточной эстакаде, с последующей раскаткой и укладкой в соответствующие штабели групп сортиментов [9]. Менее распространен, но достаточно известен вариант, когда после механизированной валки деревьев на пасаеках их трелюют за комли на верхний склад, на котором установлен делимбер для обрезки сучьев, а далее на разделочно-раскаточной эстакаде выполняется раскряжевка хлыстов бензомоторными пилами с последующей раскаткой и укладкой в соответствующие штабели групп сортиментов [10]. Также известен, но практически не встречается в практике отечественных лесозаготовительных предприятий вариант, когда после механизированной валки деревьев их дальнейшая обработка — обрезка сучьев и раскряжевка стволов на сортименты на пасаеке или на верхнем складе производится при помощи мобильных сучкорезно-раскряжежных машин (процессоров).

Все эти варианты технологического процесса лесосечных работ требуют, как минимум, 3–4 рабочих — вальщиков леса, операторов, при достаточно низкой выработке на человеко-день, не сравнимой с выработкой оператора лесозаготовительной машины.

Также необходимо учитывать достаточно серьезный кадровый дефицит рабочих на лесозаготовительных предприятиях, связанный, прежде всего, со старением уже работающих сотрудников, непопулярностью рабочих лесозаготовительных профессий у молодежи вкупе с очень существенным оттоком из лесозаготовительных предприятий гастарбайтеров, особенно по сравнению с 2008 г. [11].

В таких условиях одним из наиболее рациональных решений является использование одномашинных лесозаготовительных комплексов — универсальных лесозаготовительных машин, которые обеспечивают и валку деревьев, и производство из них сортиментов, и трелевку на верхний склад, или погрузочный пункт, а также укладку сортиментов в соответствующие штабели групп сортиментов.

Результаты исследования. Из теории организации лесосечных работ известно, что лесозаготовительные бригады подразделяются на следующие виды: функциональные (функциональные звенья) — выполняют 1–2 операции технологического процесса, отделенные во времени от остальных; комплексные (малые комплексные) — выполняют операции технологического процесса от валки деревьев до укладки лесоматериалов в требуемом виде в штабели на верхнем складе, или погрузочном пункте; укрупненные комплексные — выполняют все операции лесосечных работ от валки деревьев до погрузки лесоматериалов на автолесовозы; сквозные — выполняют все операции лесосечных работ, а также вывозку заготовленной древесины [12].

По аналогии с лесозаготовительными бригадами, системы машин лесосечных работ можно также подразделить на комплексные (выполняют операции технологического процесса от валки деревьев до укладки лесоматериалов в требуемом виде в штабели на верхнем складе, или погрузочном пункте), например, уже упомянутые харвестер + форвардер, или ВПМ + скиддер + процессор, и укрупненные комплексные — когда в упомянутые системы машин добавляется погрузчик.

Отметим, что достаточно часто операция погрузки лесоматериалов на автолесовозы уже входит в следующую технологическую цепочку — вывозки заготовленной древесины, когда на вывозке используются самопогружающиеся лесовозные автопоезда [13; 14].

Из теории и практики лесосечных работ известно, что данные многомашинные лесозаготовительные комплексы могут заменяться на одномашинные — харвадеры, форвестеры, валочно-трелевочно-процессорные машины (ВПМ), они также способны выполнить весь комплекс лесосечных работ, закрепляемых за комплексной лесозаготовительной бригадой. Все они оснащаются харвестерными головками [15–17].

Безусловно, одномашинные комплексы имеют меньшую производительность, нежели многомашинные, но в рассматриваемых природно-производственных условиях это не является недостатком. При этом они требуют меньших капиталовложений, меньшего числа операторов, но работающих в комфортных условиях, в отличие от вальщиков леса.

Харвардеры (рис. 1) представляют собой комбимашины, являющиеся одновременно харвестером и форвардером. Разрабатывают лесосеки, обычно, по классической параллельной схеме с замкнутыми пасечными волоками (рис. 2). Но с учетом того, что харвадер после валки деревьев, в процессе обрезки сучьев и раскряжевки, укладывает получаемые сортименты сразу в тележку для сортиментов (рис. 3), при движении от лесовозного уса ему приходится собирать пачку сортиментов, а затем разворачиваться вместе с ней, нарушая известное правило работы любых трелевочных тракторов: лес не надо везти в лес [18]. В свою очередь, это увеличивает удельный расход топлива на кубометр заготовленной древесины. В этой связи для харвардера будет значительно более рационально использование классических схем разработки лесосек валочно-трелевочными машинами (ВТМ), поскольку, по сути, он тоже таковой машиной и является, только трелеует не деревья с кроной, а получаемые в пасеках сортименты. При хорошей несущей способности почвогрунтов и при неглубоком снеге, при сплошной рубке без сохранения подроста хозяйственно-ценных пород можно использовать схемы разработки лесосек лентами параллельными или перпендикулярными усу лесовозной дороги. При плохой несущей способности почвогрунтов, при глубоком снеге, при сплошной рубке с сохранением равномерно распределенного подроста хозяйственно-ценных пород и при выборочных рубках для разработки лесосеки харвардером лучше использовать схемы с холостыми волоками.



Рис. 1. Харвардер

Производить раскряжевку «на грунт», чтобы впоследствии, при движении к усу лесовозной дороги, собрать заготовленные сортименты харвардеру не рационально, поскольку при помощи харвестерной головки, которой он оснащен, собирать сортименты с земли неудобно, а кроме того, при сборе сортиментов с земли головка неизбежно будет зацеплять абразив, что будет приводить к ускоренному затуплению сучкорезных ножей и пильной гарнитуры [16; 17].

Форвестеры, как известно, представляют собой машину-трансформер, которая попеременно может использоваться в качестве харвестера, а после смены технологического оборудования — как форвардер. Ярким примером такой машины может служить *Ponsse Buffalo Dual* [18]. Производительно форвестера, при прочих равных условиях, будет меньше, чем у харвардера, поскольку форвестер будет тратить дополнительное время на трансформацию — смену технологического

оборудования, а также на сбор сортиментов на пасеках, заготовленные им в режиме работы харвестера.

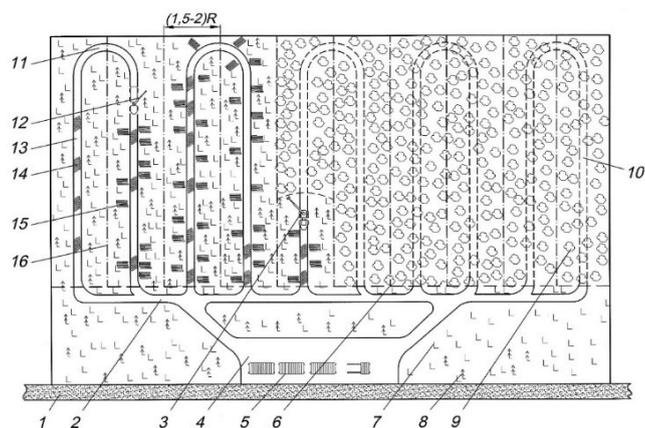


Рис. 2. Схема разработки пасек с замкнутыми пасечными трелевочными волоками при их параллельном расположении [19]: 1 — лесовозный ус; 2 — магистральный трелевочный волок; 3 — харвестер; 4 — погрузочный пункт; 5 — штабель сортиментов; 6 — граница зоны безопасности; 7 — пни; 8 — сохраненный подрост; 9 — насаждения до рубки; 10 — трасса пасечного трелевочного волока до рубки; 11 — разворотное кольцо; 12 — форвардер; 13 — пасечный трелевочный волок; 14 — порубочные остатки; 15 — пачки сортиментов; 16 — граница пасек



Рис. 3. Работа харвардера при раскряжевке

В зимний период, при снегопаде или прогнозе снегопада, большой запас сортиментов при работе в режиме харвестера форвестер заготовить не может, поскольку есть угроза того, что сортименты будут занесены снегом, и их будет сложно обнаружить при сборе в режиме форвардера [20]. Следовательно, в таких условиях форвестеру придется чаще совершать трансформацию — смену технологического оборудования, что еще больше снизит производительность относительно харвардера при прочих равных условиях.

И харвардер, и форвестер работают по скандинавской технологии лесосечных работ, производя сортименты на пасеках.

Еще одним концептом универсальной лесозаготовительной машины является валочно-трелевочно-процессорная (ВТПМ). Поскольку процессор в технологии лесозаготовительного производства — это сучкорезно-раскряжевая машина, то полностью, по виду и последовательности выполняемых технологических операций ВТПМ можно охарактеризовать как:

валочно-трелевочно-сучкорезно-раскряже-вочную машину. В отличие от харвардера или форвестера, которые являются валочно-сучкорезно-раскряжевочно-треле-вочными машинами.

В принципе, ВТПМ представляет собой ВТМ, оснащенную не захватно-срезающим устройством (ЗСУ), а харвестерной головкой (рис. 4).



Рис. 4. ВТПМ *Konrad Highlander 6WD*

На рис. 4 видно, что *Konrad Highlander 6WD* является колесной, широкозахватной, полноповоротной, универсальной лесозаготовительной машиной, на конце стрелы гидроманипулятора которой установлена харвестерная головка, а на раме машины — кониковое зажимное устройство, в которое машина укладывает комли срезанных деревьев.

В классическом варианте работы ВТПМ заходит на длину ленты набора пачки и, двигаясь в сторону уса лесовозной дороги, производит срезание деревьев и укладку их комлевых частей в кониковый зажим; собрав все доступные деревья с одной технологической остановки, зажав коники, машина передвигается к следующей технологической остановке и продолжает срезать деревья, пока не соберет полноценную пачку. При этом, при сплошной рубке без сохранения подроста хозяйственно ценных пород, при хороших почвенно-грунтовых условиях и при неглубоком снеге, предпочтительно использовать схемы разработки лесосеки, представленные на рис. 5. Прибыв на верхний склад, ВТПМ поштучно выгружает заготовленные деревья из коникового зажима, и производит из них сортименты путем обрезки сучьев и раскряжевки, с последующей укладкой в штабели.

При необходимости сохранять подрост хозяйственно ценных пород, для ВТПМ предпочтительно будет использование схемы разработки лесосеки, представленной на рис. 6. В данном варианте машина сначала прорубает пасечный трелевочный волок, укладывая деревья сбоку по ходу движения, комлями в сторону уса лесовозной дороги. Дойдя до конца пасеки, ВТПМ производит рубку лент на полупасаках, укладывая заготовленные деревья в кониковый зажим, а также попутно подбирая ранее спиленные и уложенные сбоку волока деревья. Причем, в случае работы в условиях поч-

вогрунтов с плохой несущей способностью машина может выполнять обрезку кроновой части деревьев, вырубаемых на трассе пасечного волока для его укрепления. Т. е. в этом случае ВТПМ будет работать в режиме валочно-сучкорезно-трелевочно-раскряжевочной машины.

При таком варианте работы ВТПМ (рис. 6) валка деревьев выполняется вершинами на волок, что позволяет сохранять равномерно распределенный на полупасаках подрост.

При проведении выборочных рубок леса харвардеры и форвестеры работают по принципу обычных харвестеров на таком виде работ (рис. 7). Только харвардер не оставляет на земле произведенные сортименты. Правда, в силу специфики работы однозахватному харвардеру будет сложно протискивать поваленное дерево через стену леса, с тем чтобы, совместив его с продольной осью тележки сортиментов, произвести в нее раскряжевку (рис. 3). В этой связи конструктивным для проведения выборочных рубок леса и более эффективным будет двухзахватный харвардер (рис. 8), оснащенный широкозахватной ЗСУ, как у классических валочно-пакетирующих машин (ВПМ) [21], способной вносить срезанные деревья из полупасек в вертикальном положении, и процессорной головкой, производящей раскряжевку в тележку для сортиментов.

Отметим, что, хотя в настоящее время двухзахватные харвардеры, как и двазахватные харвестеры, не выпускаются, технологическая вариативность их применения достаточно большая, поскольку в случае необходимости они могут работать практически по всем технологическим схемам освоения лесосек при помощи широкозахватных ВПМ, без последующего использования скиддеров и процессоров.

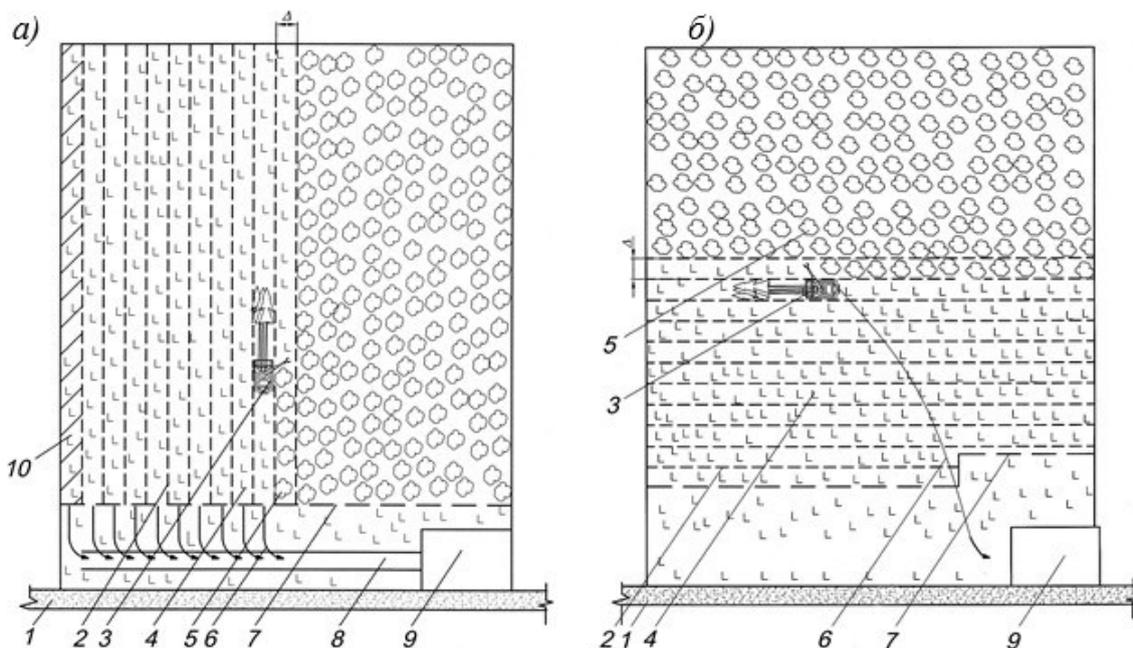


Рис. 5. Схемы разработки лесосек ВТПМ при сплошной рубке без сохранения подроста [19]: *а* — лентами, перпендикулярными к лесовозному ус; *б* — лентами, параллельными лесовозному: 1 — лесовозный ус; 2 — ленты; 3 — ВТПМ; 4 — пни; 5 — растущий лес; 6 — технологические ходы машины; 7 — зона безопасности; 8 — магистральный трелевочный волок; 9 — погрузочный пункт; 10 — холостой волок; Δ — ширина разрабатываемой ленты

На V Лесопромышленном форуме Республики Саха (Якутия) «Современные технологии: Качество. Конкурентоспособность. Эффективность», прошедшем 31 мая 2023 г. в Арктическом государственном агротехнологическом университете (АГАТУ), Эдуард Романов, Генеральный директор ООО «Конрад Руссланд», в докладе «Мономеханизм на лесочистке и лесозаготовке» рассказал о преимуществах использования на лесосечных работах современных ВТПМ. И представил различные варианты их технологического использования. В частности, помимо классического варианта одномашинного лесозаготовительного комплекса, был рассмотрен вариант использования одной или двух ВТПМ в качестве ВТМ, и использовании процессора на верхнем складе.

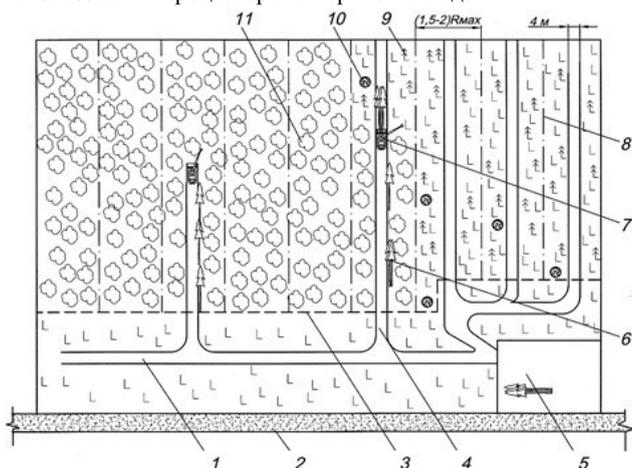


Рис. 6. Схема разработки лесосек ВТПМ по узкопасечной технологии с сохранением подроста [19]: 1 — магистральный трелевочный волок; 2 — лесовозный ус; 3 — граница зоны безопасности; 4 — пасечный трелевочный волок; 5 — верхний склад; 6 — деревья, спиленные при рубке волока; 7 — ВТПМ; 8 — граница пасек; 9 — сохраненный подрост; 10 — семенные деревья; 11 — насаждение до рубки

Конечно, при использовании одной ВТПМ в качестве ВТМ она не сможет полностью загрузить работой процессор, который придется, в этом случае, использовать в качестве функционального звена, может быть в паре с погрузчиком. При использовании двух ВТПМ, в качестве ВТМ, они уже будут в состоянии полностью загрузить процессор, и если доукомплектовать такую бригаду погрузчиком, то можно передать ей функции укрупненной лесозаготовительной бригады.

Вместе с тем, использование ВТПМ в качестве ВТМ представляется нерациональным, не может быть рекомендовано для широкого использования, поскольку ЗСУ классической ВТМ значительно легче, нежели харвестерная головка. Следовательно, при прочих равных условиях, полезная грузоподъемность у ВТМ больше, а удельный расход топлива на кубометр заготовленной и стрелеванной древесины меньше, чем у ВТПМ. Поэтому, в случае необходимости значительного увеличения объема заготовки древесины в единицу времени, и перехода с одномашинного лесозаготовительного комплекса на многомашинный, значительно более рациональным будет использовать ВТПМ в качестве классического харвестера (т. е. использование скандинавского варианта технологии лесосечных работ), с добавлением в систему одного или двух форвардеров. То же можно сказать и про форвестер. Или, в случае предпочтения канадскому варианту технологии лесосечных работ, ВТПМ следует переоснастить классической ЗСУ, вместо харвестерной головки, по примеру форвестера.

Причем, если в последнем случае оснастить ВТПМ ЗСУ от ВПМ, позволяющей выносить деревья с полупасек в вертикальном положении, то, как уже было отмечено относительно двухзахватных харвадеров, вариативность их технологического применения существенно расширится. Ограничивающим моментом в данном случае будут масса ВТПМ и вылет гидроманипулятора — чтобы опрокидывающий момент от веса поднятого в ЗСУ дерева, на вылете манипулятора, не нарушил устойчивости машины.

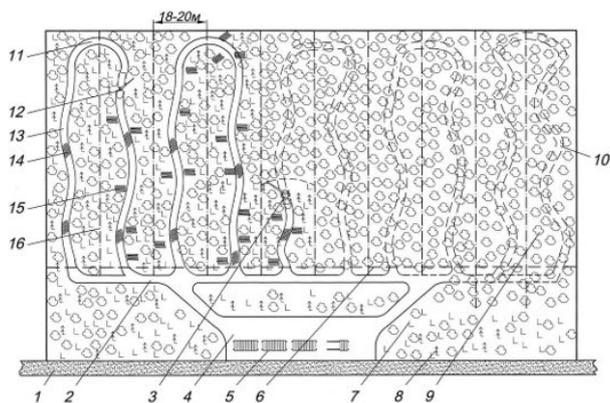


Рис. 7. Схема разработки лесосеки при выборочной рубке по скандинавской технологии [19]: 1 — лесовозный ус; 2 — магистральный трелевочный волок; 3 — производство сортиментов; 4 — погрузочный пункт; 5 — штабель сортиментов; 6 — граница зоны безопасности; 7 — пни; 8 — сохраненный подрост; 9 — насаждения до рубки; 10 — трасса пасечного волока; 11 — разворотное кольцо; 12 — сбор сортиментов; 13 — пасечный трелевочный волок; 14 — порубочные остатки; 15 — пачки сортиментов; 16 — граница пасек

Выводы. Использование одномашинных лесозаготовительных комплексов является перспективным вариантом проведения малообъемных лесосечных работ, в условиях дефицита вальщиков леса. Современные одномашинные лесозаготовительные комплексы — харвардеры, форвестеры, ВТПМ оснащены харвестерными головками, поскольку в России и в мире доминирует сортиментная технология лесосечных работ. В случае необходимости значительного увеличения объема заготовки древесины в единицу времени, и перехода с одномашинного лесозаготовительного комплекса на многомашинный, значительно более рациональным будет

Литература

1. Grigorev I., Ivanov V., Gasparian G., Nikiforova A., Khitrov E. Softwood harvesting and processing problem in Russian Federation // 14th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2014. Sofia, 2014. P. 443-446.
2. Григорьев И.В., Григорьев М.Ф., Степанова Д.И. Перспективы модульных систем машин для лесозаготовительного производства в Якутии // Актуальные направления науч. исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5, № 9 (35). С. 74-77.
3. Grigorev I., Ivanov V., Khitrov E., Kalistratov A., Bozhbov V. New approach for forest production stocktaking based on energy cost // 14th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2014. Sofia, 2014. P. 407-414.
4. Григорьев И.В., Куницкая О.А., Рудов С.Е., Давтян А.Б. Пути повышения эффективности работы лесных машин // Энергия: экономика, техника, экология. 2020. № 1. С. 55-63.
5. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Чураков А.А. Эффективные технологии и системы машин для малообъемных заготовок древесины // Энергия: экономика, техника, экология. 2018. № 2. С. 61-66.
6. Александров И.К., Григорьев И.В., Иванов В.А., Елизаров Ю.М., Чуднов Ю.Н. Методика определения топливной экономичности бензомоторных пил // Вестн. КрасГАУ. 2010. № 2 (41). С. 112-117.
7. Григорьев И.В. Параметры и показатели работы перспективного форвардера для малообъемных лесозаготовок // Актуальные направления науч. исследований XXI века: теория и практика. 2018. Т. 6, № 4 (40). С. 21-25.



Рис. 8. Двухзахватный харвардер

использовать ВТПМ в качестве классического харвестера (т. е. использование скандинавского варианта технологии лесосечных работ) с добавлением в систему одного или двух форвардеров. То же можно сказать и про форвестер. Или, в случае предпочтения канадскому варианту технологии лесосечных работ, ВТПМ следует переоснастить классической ЗСУ, вместо харвестерной головки, по примеру форвестера. Харвардер, в силу специфики своей конструкции, менее перспективен для работы в составе многомашинных лесозаготовительных комплексов. Оснащение двухзахватных харвардеров широкозахватными ЗСУ от ВПМ может существенно увеличить технологическую вариативность их использования.

Материалы исследования получены за счёт гранта Российского научного фонда № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

8. Григорьев И.В., Чураков А.А. Совершенствование конструкции активного полуприцепа форвардера на базе сельскохозяйственного колесного трактора // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Междунар. науч.-технической конф. (19 апр. 2018 г.). Тюмень, 2018. С. 84-88.
9. 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 пром-сть. 2016. № 2 (184). С. 109-116.
10. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Куницкая О.А. Переработка древесины на лесосеке: перспективы развития // Энергия: экономика, техника, экология. 2017. № 2. С. 27-33.
11. Григорьев И.В., Войнаш С.А. Повышение эффективности подготовки операторов лесных машин // Лесозаготовка и комплексное использование древесины: сб. ст. Всерос. науч.-практической конф. Красноярск, 2020. С. 62-66.
12. Григорьев И.В., Жукова А.И., Лепилин Д.В., Есин Г.Ю. Пути повышения эффективности сплошных рубок // Леса России в XXI веке: материалы первой междунар. науч.-практической интернет-конференции (30 июня 2009 г.). СПб., 2009. С. 169-172.
13. Мазилова О.А., Григорьев И.В., Локштанов Б.М. Формирование и разгрузка штабелей хлыстов и сортиментов на межсезонный период // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы Междунар. науч.-технической конф. (6-7 дек. 2016 г.). Вологда, 2017. С. 77-80.

14. Григорьев И.В. Повышение эффективности освоения лесосечного фонда малой концентрации // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Второй Всерос. науч.-практической конф. с междунар. участием, посвящ. 65-летию высш. лесного образования в Республике Карелия (24 мая 2016 г.). Петрозаводск, 2016. С. 62-65.
15. Григорьев И.В. Направления совершенствования харвестерных головок // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Шестой Всерос. нац. науч.-практической конф. с междунар. участием (22 мая 2020 г.). Петрозаводск, 2020. С. 45-47.
16. Григорьев И.В. Калибровка харвестерных головок // Наука и инновации: векторы развития: материалы Междунар. науч.-практической конф. молодых ученых (24-25 окт. 2018 г.). Барнаул, 2018. С. 78-82.
17. Тамби А.А., Григорьев И.В. Повышение эффективности работы харвестера путем исключения потерь времени на подготовку режущего инструмента // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 4. С. 12-16.
18. Куницкая О.А., Чернуцкий Н.А., Дербин М.В., Рудов С.Е., Григорьев И.В., Григорьева О.И. Машинная заготовка древесины по скандинавской технологии. СПб.: Изд.-полигр. ассоциация высш. учеб. заведений, 2019. 192 с.
19. Григорьев И.В., Тихонов И.И., Куницкая О.А. Технология и машины лесосечных работ. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. 132 с.
20. Григорьев И.В. Особенности эксплуатации лесных машин в сильные морозы // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы междунар. науч.-технической конф. молодых ученых (25-26 окт. 2018 г.). Могилев, 2018. С. 102.
21. Григорьев И.В., Григорьева О.И. Лесозаготовительные машины на экскаваторной базе // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы IV Всерос. науч.-практической конф. с междунар. участием (22-23 мая 2018 г.). Петрозаводск, 2018. С. 45-46.
- направлениya nauch. issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2018. V. 6, № 4 (40). P. 21-25.
8. Grigor'ev I.V., CHurakov A.A. Improvement of the design of an active forwarder semi-trailer based on an agricultural wheeled tractor // Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy: materialy Mezhdunar. nauch.-tekhnicheskoy konf. (19 apr. 2018 g.). Tyumen', 2018. P. 84-88.
9. Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I., Nikiforova A.I., Gluhovskij V.M. Promising directions for the development of technological processes of logging operations // Trudy BGTU. № 2. Lesnaya i derevoobrabatvyayushchaya prom-st'. 2016. № 2 (184). P. 109-116.
10. Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I., Kunickaya O.A. Wood processing in the cutting area: development prospects // Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya. 2017. № 2. P. 27-33.
11. Grigor'ev I.V., Vojnash S.A. Improving the efficiency of training forest machine operators // Lesoeksploatatsiya i kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny: sb. st. Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. Krasnoyarsk, 2020. P. 62-66.
12. Grigor'ev I.V., ZHukova A.I., Lepilin D.V., Esin G.YU. Ways to improve the efficiency of continuous logging // Lesa Rossii v XXI veke: materialy pervoy mezhdunar. nauch.-prakticheskoy internet-konferencii (30 iyunya 2009 g.). SPb., 2009. P. 169-172.
13. Mazilova O.A., Grigor'ev I.V., Lokshtanov B.M. Formation and unloading of stacks of whips and sortings for the off-season period // Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: materialy Mezhdunar. nauch.-tekhnicheskoy konf. (6-7 dek. 2016 g.). Vologda, 2017. P. 77-80.
14. Grigor'ev I.V. Improving the efficiency of the development of a low-concentration logging fund // Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: materialy Vtoroj Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. s mezhdunar. uchastiem, posvyashch. 65-letiyu vyssh. lesnogo obrazovaniya v Respublike Kareliya (24 maya 2016 g.). Petrozavodsk, 2016. P. 62-65.
15. Grigor'ev I.V. Directions of improvement of harvester heads // Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: materialy SHestoj Vseros. nac. nauch.-prakticheskoy konf. s mezhdunar. uchastiem (22 maya 2020 g.). Petrozavodsk, 2020. P. 45-47.
16. Grigor'ev I.V. Calibration of harvester heads // Nauka i innovacii: vektory razvitiya: materialy Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. molodyh uchenyh (24-25 okt. 2018 g.). Barnaul, 2018. P. 78-82.
17. Tambi A.A., Grigor'ev I.V. Increasing the efficiency of the harvester by eliminating the loss of time for the preparation of the cutting tool // Remont, Vosstanovlenie, Modernizatsiya (Repair, Reconditioning, Modernization). 2020. № 4. P. 12-16.
18. Kunickaya O.A., CHernuckij N.A., Derbin M.V., Rudov S.E., Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I. Machine harvesting of wood using Scandinavian technology. SPb.: Izd.-poligr. associaciya vyssh. ucheb. zavedenij, 2019. 192 p.
19. Grigor'ev I.V., Tihonov I.I., Kunickaya O.A. Technology and machines of logging operations. SPb.: SPbGLTU, 2013. 132 p.
20. Grigor'ev I.V. Features of operation of forest machines in severe frosts // Novye materialy, oborudovanie i tekhnologii v promyshlennosti: materialy mezhdunar. nauch.-tekhnicheskoy konf. molodyh uchenyh (25-26 okt. 2018 g.). Mogilev, 2018. P. 102.
21. Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I. Logging machines at the excavator base // Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: materialy IV Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. s mezhdunar. uchastiem (22-23 maya 2018 g.). Petrozavodsk, 2018. P. 45-46.

References

1. Grigorev I., Ivanov V., Gasparian G., Nikiforova A., Khitrov E. Softwood harvesting and processing problem in Russian Federation // 14th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2014. Sofia, 2014. P. 443-446.
2. Grigor'ev I.V., Grigor'ev M.F., Stepanova D.I. Prospects of modular systems of machines for logging production in Yakutia // Aktual'nye napravleniya nauch. issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2017. V 5, № 9 (35). P. 74-77.
3. Grigorev I., Ivanov V., Khitrov E., Kalistratov A., Bozhbov V. New approach for forest production stocktaking based on energy cost // 14th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2014. Sofia, 2014. P. 407-414.
4. Grigor'ev I.V., Kunickaya O.A., Rudov S.E., Davtyan A.B. Ways to improve the efficiency of forest machines // Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya. 2020. № 1. P. 55-63.
5. Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I., CHurakov A.A. Efficient technologies and systems of machines for low-volume wood blanks // Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya. 2018. № 2. P. 61-66.
6. Aleksandrov I.K., Grigor'ev I.V., Ivanov V.A., Elizarov YU.M., CHudnov YU.N. Methodology for determining the fuel efficiency of gasoline-powered saws // The Bulletin of KrasGAU. 2010. № 2 (41). P. 112-117.
7. Grigor'ev I.V. Parameters and performance indicators of a promising forwarder for low-volume logging // Aktual'nye