

Повышение производительности неспециализированной техники на лесозаготовках на базе математического анализа показателей лесосеки

Ф.В. Свойкин^{1a}, В.Ф. Свойкин^{2b}, В.А. Соколова^{1c}, Б.М. Локштанов^{3d}, В.В. Орлов^{3e}, Т.А. Гусева^{3f}

¹ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия

² Сыктывкарский лесной институт (филиал) Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, Ленина, 39, Сыктывкар, Республика Коми, Россия

³ Военная академия связи им. С.М. Буденного, пр. Тихорецкий, 3, Санкт-Петербург, Россия

^a svoikin_fv@mail.ru, ^b svoikinvf@mail.ru, ^c sokolova_vika@inbox.ru, ^d blokshtanov@mail.ru,

^e artictvetal1987@gmail.com, ^f guse.tania2012@yandex.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-8507-9584>, ^b <https://orcid.org/0000-0001-8989-4626>,

^c <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>, ^d <https://orcid.org/0000-0002-5390-1457>,

^e <https://orcid.org/0000-0003-1059-8483>, ^f <https://orcid.org/0000-0003-1059-8483>

Статья поступила 06.09.2021, принята 15.09.2021

В статье рассматриваются вопросы усовершенствования процесса лесозаготовок при применении нестандартизированной техники и увеличения ее производительности путем оптимизации работы на основе применения программного обеспечения (ПО), например, TimberMatic Maps, позволяющего рассчитывать часовую, сменную и годовую производительность харвестера с учетом среднего объема хлыстов и запаса древесины на гектаре, а также с учетом почвенно-грунтового состояния местности. Кроме того, ПО позволяет оптимально трассировать волока на делянке, «прокладывать маршруты» форвардера и использовать инструмент «ассортименты». В качестве примера решения поставленных задач было взято лесозаготовительное предприятие ООО «Биенестар» (РФ, Ленинградская область, Кингисеппский район), на котором для валки деревьев, срезания сучьев и раскряжевки хлыстов была использована машина — погрузчик экскаваторного типа Mantsinen 60, модернизированный под харвестер, с применением соответствующего манипулятора с харвестерной головкой Ponsse H73E. Харвестер работает в паре с форвардером Ponsse Buffalo 8W. По результатам исследования работы лесозаготовительной техники и расчетов с применением ПО было доказано, что производительность такого харвестера можно увеличить до 20 % только за счет инструментов геопозиционирования. Для расчетов были взяты различные участки лесосеки со средним объемом хлыстов от 0,15 до 0,5 м³ и средним запасом древесины на гектаре от 75 до 230 м³. Установлено, что при варьировании показателей лесосеки производительность харвестера на различных участках лесосеки различна, а прирост годовой производительности техники может составить от 26 до 50 %. Разработанная методика расчетов производительности и полученные результаты при применении ПО TimberMatic Maps на конкретном предприятии позволяют рекомендовать ПО к использованию в различных лесных регионах России, не только в Северо-Западном федеральном округе, но и на Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке, с учетом главных показателей: среднего объема хлыста и запаса древесины на гектаре, а также почвенно-грунтового состояния местности.

Ключевые слова: заготовка древесины; производительность; геопозиционирование; валочно-сучкорезно-раскряжевная машина; объем хлыста; сортименты.

Increasing the productivity of non-specialized equipment based on mathematical analysis of logging indicators of a wood-cutting area

F.V. Svoikin^{1a}, V.F. Svoikin^{2b}, V.A. Sokolova^{1c}, B.M. Lokshtanov^{3d}, V.V. Orlov^{3e}, T.A. Guseva^{3f}

¹ St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov; 5, Institutskiy Per., St. Petersburg, Russia

² Syktyvkar Forestry Institute of St. Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov; 39, Lenin St., Syktyvkar, Republic of Komi

³ Military Communications Academy named after S.M. Budenny; 3, Tikhoretsky Ave., St. Petersburg, Russia

^a svoikin_fv@mail.ru, ^b svoikinvf@mail.ru, ^c sokolova_vika@inbox.ru, ^d blokshtanov@mail.ru,

^e artictvetal1987@gmail.com, ^f guse.tania2012@yandex.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-8507-9584>, ^b <https://orcid.org/0000-0001-8989-4626>,

^c <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>, ^d <https://orcid.org/0000-0002-5390-1457>,

^e <https://orcid.org/0000-0003-1059-8483>, ^f <https://orcid.org/0000-0003-1059-8483>

Received 06.09.2021, accepted 15.09.2021

The article discusses the issues of improving the logging process when using non-standardized equipment and increasing its productivity by optimizing work based on the use of software, for example TimberMatic Maps, which allows calculating the hourly, shift and annual productivity of the harvester, taking into account the average volume of logs and the stock of wood per hectare, as well as the soil and soil condition of the area. In addition, the software allows optimal tracing of trails in the logging area, "routing" of the forwarder and the use of the "assortments" tool. As an example of solving the assigned tasks, the logging enterprise LLC Bienestar (Russian Federation, Leningrad region, Kingiseppsky district) is taken, where for felling trees, cutting branches and crosscutting logs, an excavator-type loader Mantsinen 60, modernized for a harvester using the appropriate manipulator with harvester head Ponsse H73E is used. The harvester is paired with a Ponsse Buffalo 8W forwarder. According to the results of a study of the operation of forestry equipment and calculations using software, it is proved that the productivity of such a harvester can be increased up to 20% only with the help of geolocation tools. For the calculations, various cutting areas were taken with an average volume of logs from 0.15 to 0.5 m³ and an average stock of wood per hectare from 75 to 230 m³. It has been established that with varying cutting area indicators, the productivity of the harvester in different areas of the cutting area is different, and the increase in the annual productivity of machinery can be from 26 to 50%. The developed methodology for calculating productivity and the results obtained when using the TimberMatic Maps software at a particular enterprise allows recommending the software for use in various forest regions of Russia, not only in the Northwestern Federal District, but also in the Urals, Siberia and the Far East, taking into account the main indicators: the average volume of the whip and stock of wood per hectare, as well as the soil and soil condition of the area.

Keywords: timber harvesting; productivity; geo-positioning; feller-delimiting-bucking machine; log volume; assortments.

Введение. Одной из актуальных проблем лесной отрасли РФ является обеспечение лесозаготовителей надежной, производительной техникой, работающей в тяжелых условиях по почвенно-грунтовым показателям и в суровых условиях по климату [20].

В настоящее время в России практически не выпускают нужные для отрасли валочно-сучкорезно-раскряжевочные машины (ВСРМ), которые именуют харвестерами (англ. *harvester*, от *harvest* — «собирать урожай»). Лесозаготовителям России приходится закупать колесные харвестеры различных зарубежных фирм [19], например, John Deere, Komatsu, Ponsse, и в большинстве случаев, бывшие в употреблении. В последнее время зарубежные фирмы, учитывая большой опыт работы их техники в России, начали разрабатывать харвестеры на базе экскаваторов с гусеничными движителями (John Deere [15], Komatsu, Ponsse).

Лесозаготовительная техника на базе экскаваторов известна давно и изготавливается в России, но это относится к валочно-пакетирующим машинам (ВПМ) [5], которые работают на валке и пакетировании деревьев (создание небольших несвязанных пакетов деревьев объемом 4–8 м³).

Харвестеры на базе экскаваторов с гусеничным движителем менее маневренны, имеют больший вес, но оказывают меньшее давление на грунт, обладают большей проходимостью как по грунтам с малой несущей способностью, так и в зимний период, при высоком снежном покрове. На рис. 1 приведен пример погружения в слабый грунт колесного форвардера. Отметим, что эту машину вытащил гусеничный трелевочный трактор ТБ-1.

Следует отметить, что харвестеры на базе экскаваторов на гусеничном ходу стоят дорого и недоступны многим малым и средним лесозаготовительным фирмам в России.

Это обстоятельство вынуждает лесозаготовителей самостоятельно приспособлять экскаваторы для работы на лесозаготовках, используя рекомендации и расчеты ученых лесной отрасли РФ.

Использование нестандартизированной лесозаготовительной техники не всегда позволяет достичь высоких показателей по производительности [5]. Одной из задач по повышению производительности работы лес-

ных машин является оптимизация различных показателей лесосеки, влияющих на процесс лесозаготовок. Факторы, влияющие на экономические показатели, освещены в работах [1; 2], а расчет времени на обработку каждого дерева рассмотрен в работах [3; 4]. Основными факторами, влияющими на производительность лесозаготовительной техники, являются средний диаметр хлыста (диаметр дерева на высоте 1,3 м) на разрабатываемом участке древостоя, количество деревьев на гектаре или объем древесины на гектаре. Кроме того, на производительность харвестеров оказывают влияния состояние почво-грунтов, температура окружающей среды, опыт работы оператора [14] и т. д. Отметим, что в перспективе на лесосеке должна работать высокопроизводительная, надежная радиоуправляемая техника [6], которая должна учитывать показатели лесосеки.

Для решения задач по повышению производительности харвестеров наиболее рациональным путем считаем расширение применения программного обеспечения (ПО) лесных машин [7], в том числе и для анализа работы операторов, которые широко освещены зарубежными авторами [8–10].

Как показал опыт работы стандартных харвестеров, производительность этих многооперационных машин повышается при применении оптимизированного интегрированного решения карт по программному обеспечению под маркой TimberMatic Maps™, разработанного фирмой John Deere [11], где учтены особенности работы лесных машин и усовершенствование операций по лесозаготовкам [12]. Лесная техника нуждается в оптимальном подборе программного обеспечения для работы как на прямолинейных, так и на криволинейных волоках при проведении как сплошных [13], так и селективных рубок древесины.

На примере лесозаготовительного предприятия ООО «Биенестар», расположенного в Кингисеппском районе Ленинградской области, показано, каким путем можно повысить производительность машины по заготовке сортиментов. Так как предприятие расположено около большого современного порта Усть-Луга, предприятием была приобретена недорогая, бывшая в употреблении машина на базе экскаватора-погрузчика Mantsinen 60 [16] и переделана на харвестер путем

установки соответствующего манипулятора с харвестерной головкой (ХГ). Однако производительность такого харвестера не достигала обычных показателей, характерных для серийных машин.

Цель работы. На основе анализа лесозаготовительной базы ООО «Биенстар» рассчитать средние показатели запаса древесины на гектаре, рассчитать производительность харвестера на различных участках древоостоя, эффективность использования программного обеспечения для оптимизации технологических операций харвестера и использование его для прокладки трасс волоков при работе на лесосеке.

Методика и оборудование исследований. Расчетная лесосека (лесосырьевая база) ООО «Биенстар» находится на Северо-Западе РФ, в Ленинградской области. Годовой объем заготовки древесины составляет ~ 100 тыс. м³. Средний породный состав лесных насаждений на расчетной лесосеке представлен формулой 3С2Е3Ос2Б, что характерно для этого региона РФ. Объем хлыста колеблется в широком диапазоне от 0,15 до 0,5 м³. Запас древесины на 1 га на различных участках лесосеки составляет от 75 м³ на редколесье до 230 м³/га. Учитывая площади насаждений с различными запасами древесины, рассчитан средний таксационный объем хлыста на лесосеке — он составил 0,395 м³ (округляем до 0,4 м³). Это хороший показатель для данного района. Кроме того, по таксационным расчетам, средний запас древесины на 1 га составил 187 м³/га (округляем до 190 м³/га), что также подтверждает выводы о хороших показателях расчетной лесосеки.

Что касается породного состава насаждений, то здесь положение не очень хорошее, так как около 50 % заготавливаемой древесины составляют лиственные породы — осина (Ос) и береза (Б), что отражается на экономических показателях предприятия. Это связано с трудностями использования этих пород в отрасли.

Почвогрунты на лесосырьевой базе ООО «Биенстар» — слабонесущие, переувлажненные, что приводит к негативным последствиям (рис. 1) и снижению производительности лесозаготовительного процесса.

Техника для исследования — неспециализированная ВСРМ на базе портового погрузчика Mantsinen 60, переделанного под харвестер (рис. 2), и снабженного ХГ Ponsse H73E (рис. 3). Данный харвестер работает в паре с трелевочной машиной-форвардером Ponsse Buffalo 8W.

На предприятии ООО «Биенстар» машинная смена принята 12 ч в сутки.

По методике [18], согласно среднестатистическим показателям лесозаготовительного процесса, было осуществлено варьирование среднего объема хлыста от 0,15 до 0,5 м³ с градацией 0,15; 0,2; 0,3; 0,4 и 0,5 м³ и среднего запаса древесины на 1 га от 75 до 230 м³/га с градацией 75; 100; 150; 190; 230 м³/га, что является типичным для участков лесосеки ООО «Биенстар», а также использование программного обеспечения TimberMatic Maps.

Расчеты проводились в Microsoft Office Excel. Рассчитывали часовую, сменную и годовую производительность лесозаготовительного процесса с учетом того, что использование ПО позволяет получить данные по этим показателям с приростом как минимум 15–

17 % (данные Deere & Company). Ниже приводятся расчеты показателей по производительности:

1. Показатели производительности при среднем запасе древесины на гектаре 75 м³ и среднем объеме хлыста $V_{xл1} = 0,15$ м³.

1.1 Часовая производительность $P_{ч1}$ определяется по формуле (1) [18]:

$$P_{ч1} = 3600 \cdot \sum_{i=1}^{i=n} V_{xли} \cdot \varphi_1 / T_{ч} = \quad (1)$$

$$= 3600 \cdot 8,17 \cdot 0,90 / 3600 = 7,36 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

где 3 600 — количество секунд в часе; $V_{xли}$ — объем i хлыста; $\sum_{i=1}^{i=n} V_{xли}$ — суммарный объем хлыстов (заготовленных сортиментов) за 1 ч работы харвестера на расчетной делянке, м³/ч (статистические данные $\sum_{i=1}^{i=n} V_{xли} = 8,17$ м³); φ_1 — коэффициент производительности, 0,9; $T_{ч}$ — время обработки суммарного объема древесины, с, $T_{ч} = 3 600$ с.

1.2 Сменную производительность рассчитывали по формуле (2):

$$P_{см1} = P_{ч1} \cdot T_{см} = 7,36 \cdot 12 = 88,32 \text{ м}^3 / \text{см}, \quad (2)$$

где $T_{см}$ — количество часов в одной машино-смене (на предприятии ООО «Биенстар» $T_{см} = 12$ ч).

1.3 Среднее количество обрабатываемых хлыстов в час ($N_{ч1}$) рассчитывается согласно известной формуле (3), шт./ч:

$$N_{ч1} = \frac{P_{ч1}}{V_{xл1}} = 7,36 / 0,15 = 49 \text{ шт./ч}. \quad (3)$$

1.4 Среднее количество обрабатываемых хлыстов в смену определяли по формуле (4), шт./см.:

$$N_{см1} = \frac{P_{см1}}{V_{xл1}} = 49 / 0,15 = 588,8 \text{ шт./см}. \quad (4)$$

1.5 Годовая выработка сортиментов на одну машину $P_{г1}$ определяется по формуле (5), м³/ч:

$$P_{г1} = 365 \cdot P_{см1} \cdot K = 365 \cdot 88,32 \cdot 0,9 = 29012,3 \text{ м}^3 / \text{час} \quad (5)$$

где K — коэффициент, учитывающий нерабочие периоды техники, в том числе межсезонные периоды $K = 0,9$.

2. Показатели для среднего запаса древесины на га 100 м³/ч и среднего объема хлыста $V_{xл2} = 0,2$ м³ рассчитываем по аналогичным формулам (1)–(5), но значения показателей будут следующие

2.1. Часовая производительность

$$P_{ч2} = 9,78 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

2.2. Сменная производительность

$$P_{см2} = 117,36 \text{ м}^3 / \text{см}.$$

2.3. Количество обрабатываемых хлыстов в час

$$N_{ч1} = 49 \text{ шт./ч}.$$

2.4. Количество обрабатываемых хлыстов в см

$$N_{см2} = 586,8 \text{ шт./см}.$$

2.5 Годовая выработка сортиментов на одну машину $P_{2,2} = 38\,551,9 \text{ м}^3/\text{г}$.

3. Показатели для среднего запаса древесины на гектаре $150 \text{ м}^3/\text{га}$ и среднего объема хлыста $V_{\text{хл.ср3}} = 0,3 \text{ м}^3$ рассчитываем по формулам (1)–(5), а данные заносим в табл. 1

4. Показатели для среднего запаса древесины на гектаре $190 \text{ м}^3/\text{га}$ и среднего объема хлыста $V_{\text{хл.ср4}} = 0,4 \text{ м}^3$

рассчитываем по формулам (1)–(5). Отметим, что это типичные таксационные показатели для лесозаготовительного предприятия ООО «Биенестар». Данные заносим в табл. 1.

5. Показатели для среднего запаса древесины на га $230 \text{ м}^3/\text{га}$ и среднего объема хлыста $V_{\text{хл.ср5}} = 0,5 \text{ м}^3$ рассчитываем по формулам (1)–(5) и заносим в табл. 1.

Таблица 1. Данные по производительности харвестера при различных таксационных условиях с применением программного обеспечения TimberMatic Maps

Запас древесины на 1 га, $\text{м}^3/\text{га}$	Средний объем хлыста $V_{\text{хл, ср}} \text{ м}^3$	Производительность часовая $P_{\text{ч}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$	Производительность сменная $P_{\text{см}}$, $\text{м}^3/\text{см}$.	Среднее количество обрабатываемых хлыстов в час, $N_{\text{хсм}}$, шт./ч	Среднее количество обрабатываемых хлыстов в смену $N_{\text{хсм}}$, шт./см.	Годовая производительность (объем заготовки сортиментов) $P_{\text{г}}$, $\text{м}^3/\text{г}$
75	0,15	7,36	88,32	49	589	29 012,3
100	0,20	9,78	117,36	49	587	39 551,9
150	0,30	14,60	175,20	48	584	57 552,3
190	0,40	19,40	232,80	48	582	76 473,9
230	0,50	24,38	292,50	49	585	96 085,4

Сравнительный график по часовой производительности харвестера, переделанного из экскаватора на предприятии, в зависимости от природно-производственных факторов, соответственно, без и с применением программного обеспечения TimberMatic Maps, приведен на рис. 5, а полигон изменения часовой производительности с учетом применения ПО — на рис. 6.

Сравнительный график сменной производительности машины, в зависимости от природно-производственных факторов, соответственно, без и с применением ПО TimberMatic Maps, представлена на рис. 7, а полигон изменения сменной производительности с учетом ПО — на рис. 8.

Сравнительный график годовой производительности (объем заготовки древесины) на списочную машину, в зависимости от природно-производственных факторов, соответственно, без и с применением ПО TimberMatic Maps представлен на рис. 9, а полигон годовой производительности с учетом ПО — на рис. 10.

Из приведенных данных (рис. 5–10) видно, что производительность харвестера, разработанного на предприятии ООО «Биенестар», повышается примерно на 15–17 % в результате использования ПО TimberMatic Maps. В зависимости от среднего объема хлыста и величины запаса древесины на гектаре, часовая производительность будет от 7,36 до $24 \text{ м}^3/\text{ч}$, сменная производительность — от 88,32 до $292,5 \text{ м}^3/\text{см}$, а годовая производительность (объем заготовки сортиментов) составит от 33 506,1 до $83\,700,9 \text{ м}^3/\text{г}$. Приведенные данные значительно превышают годовой объем заготавливаемой древесины указанной машиной (харвестером) без применения ПО TimberMatic Maps.

Применение ПО TimberMatic Maps позволило рационально распределить разработку делянок на лесосеки с учетом запаса древесины на гектаре и среднего объема хлыста, а также с учетом почвенно-грунтового состояния участков для лесозаготовки.

В процессе проведения исследований были выявлены дополнительные пути повышения производитель-

ности нестандартизированной техники на базе инструментов ПО, а именно рациональная «трассировка» волоков на делянке для работы харвестера и «прокладывание маршрута» для форвардера (для сбора полученных сортиментов и доставки их на складирование) (рис. 11). Эта система автоматически выстраивает кратчайший маршрут к пункту складирования сортиментов (присутствующие по маршруту сортименты отображаются в перечне грузов в окне «карты»).

Помимо этого, с помощью инструментов ПО можно выполнить инструмент «ассортименты» (рис. 12). С помощью этого инструмента можно определять погрузку на форвардер различных по качеству сортиментов (пиловочник, балансы, стройлес и т. п.) или сортименты в смеси. При этом оператор форвардера может сам выбирать тип груза и выбирать инструмент «ассортименты».



Рис. 1. Результат нерациональной прокладки волоков на лесосеке при заготовке древесины в ООО «Биенестар» (Кингисеппский район Ленинградской области)



Рис. 2. Реконструированный в валочно-сучкорезно-раскря-жевочную машину (харвестер) погрузчик экскаваторного типа с гусеничным двигателем Mantsinen 60 при заготовке древесины на предприятии ООО «Биенстар»



Рис. 3. Харвестерная головка Ponsse H73E, установленная на реконструированной машине Mantsinen 60 на предприятии ООО «Биенстар»



Рис. 4. Колесный сортиментоподборщик (форвардер) Ponsse Buffalo 8W на предприятии ООО «Биенстар»

На рис. 5 приведен сравнительный график часовой производительности на списочную машину на предприятии в зависимости от природно-производственных факторов, соответственно, без и с применением TimberMatic Maps.

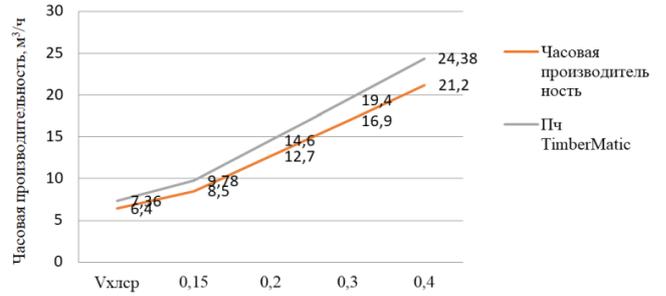


Рис. 5. Часовая производительность харвестера без применения ПО TimberMatic Maps и с применением ПО TimberMatic Maps

На рис. 6 представлен полигон изменения часовой производительности в зависимости от природно-производственных факторов предприятия, с учетом применения ПО TimberMatic Maps.

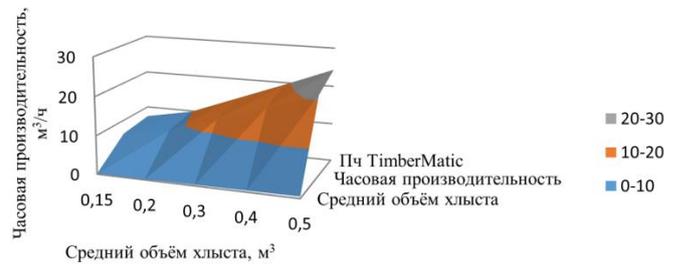


Рис. 6. Полигон изменения часовой производительности машины в зависимости от природно-производственных факторов предприятия, с учетом применения ПО TimberMatic Maps

На рис. 7 приведен сравнительный график сменной производительности на списочную машину на предприятии в зависимости от природно-производственных факторов, соответственно, без и с применением TimberMatic Maps.

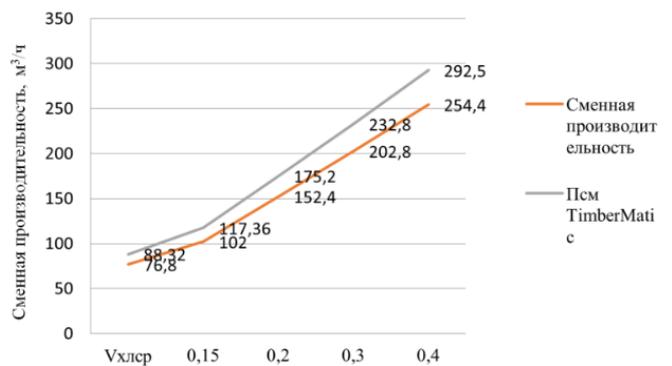


Рис. 7. График сравнительный сменной производительности на списочную машину на предприятии без применения TimberMatic Maps и с применением TimberMatic Maps

На рис. 8 представлен полигон изменения сменной производительности в зависимости от природно-производственных факторов предприятия, с учетом применения TimberMatic Maps.

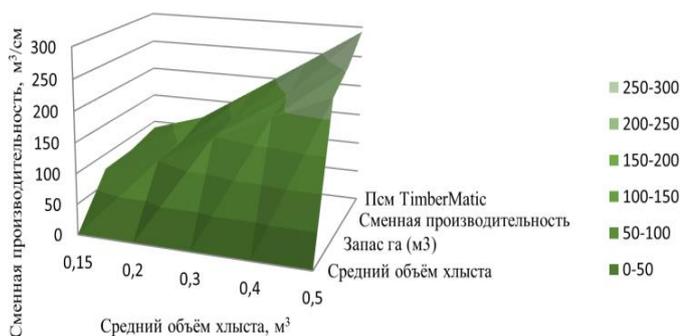


Рис. 8. Полигон изменения сменной производительности в зависимости от природно-производственных факторов предприятия, с учетом применения ПО TimberMatic Maps

На рис. 9 приведен сравнительный график годовой производительности на списочную машину на предприятии в зависимости от природно-производственных факторов, соответственно, без и с применением ПО TimberMatic Maps.

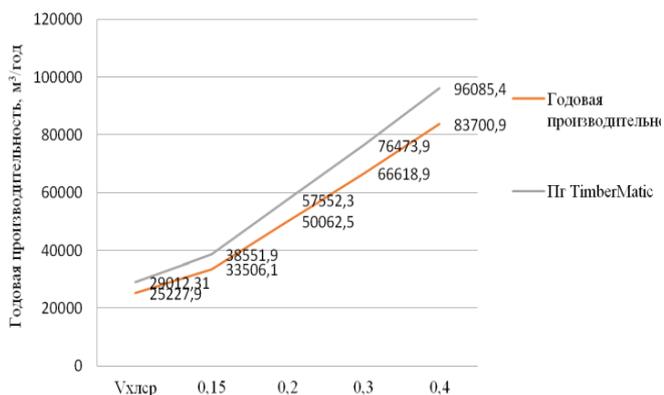


Рис. 9. График сравнительный годовой производительности на списочную машину на предприятии без применения TimberMatic Maps и с применением TimberMatic Maps

На рис. 10 представлен полигон изменения годовой производительности в зависимости от природно-производственных факторов предприятия, с учетом применения ПО TimberMatic Maps.

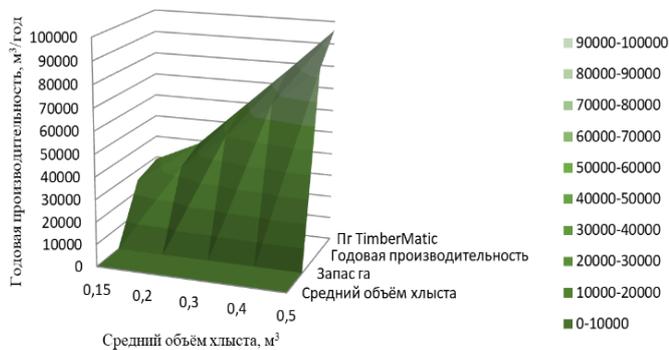


Рис. 10. Полигон изменения годовой производительности в зависимости от природно-производственных факторов предприятия, с учетом применения ПО TimberMatic Maps

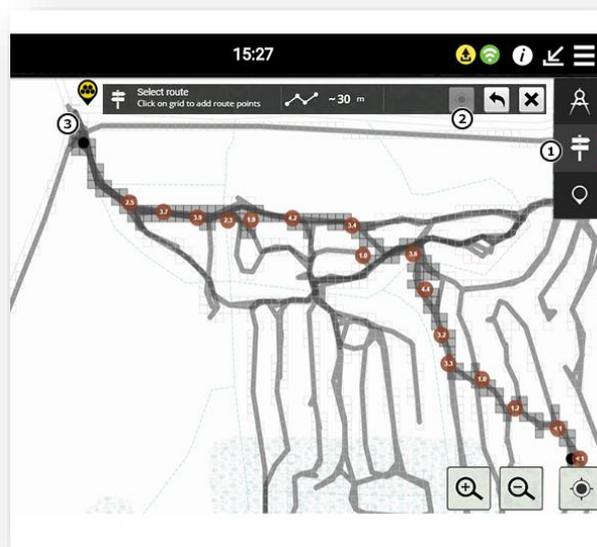


Рис. 11. Инструмент «прокладывание маршрута»

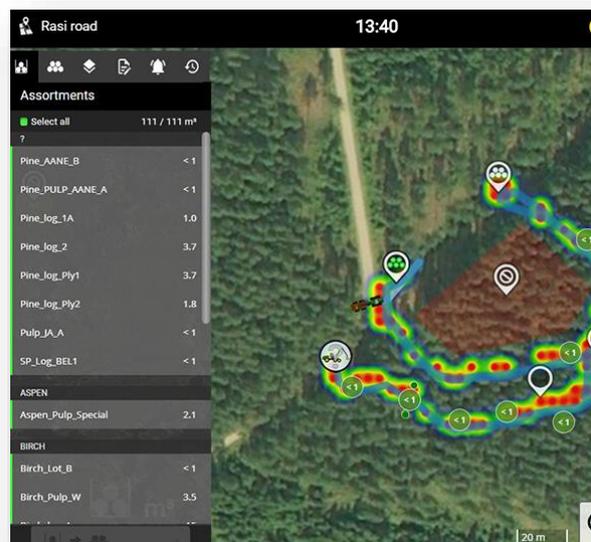


Рис. 12. Инструмент «ассортименты»

Заключение. В результате проведенных исследований предложена методика по расчетам производительности нестандартизированной лесозаготовительной техники и использованию программного обеспечения TimberMatic Maps, которая позволяет рационально чередовать работу техники на различных участках лесосеки с запасом древесины на гектаре от 75 до 230 м³/га и средним диаметром хлыстов от 0,15 до 0,5 м³. Причем варьирование годовой производительности может составить от 29 012 до 96 085 м³/г. Рассчитано, что средняя годовая производительность харвестера для условий предприятия ООО «Биенстар» составит около 76 000 м³/г, что значительно, на 15–17 %, превышает показатели работы харвестера без ПО TimberMatic Maps. Использование ПО позволяет оптимально трассировать волокна на делянке, оптимально прокладывать маршрут форвардера для складирования сортиментов,

а инструмент «ассортименты» позволяет повысить качество сортирования и складирования сортиментов по назначению. Совокупность применения различных ин-

струментов ПО позволяет повысить производительность рассматриваемого комплекса лесозаготовительной техники на 30–50 %.

Литература

- Walsh D. Quantifying the value recovery improvement using a harvester optimiser. CRC for Forestry Bulletin. 2012. 26:4 p.
- Blagojević B., Jonsson R., Björheden R., Nordström E.-M., Lindross O. Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) in forest operations - an introductory review // Croatian Journal of Forest Engineering. 2019. 40: P. 191-201.
- Свойкин Ф.В., Бачериков И.В., Бирман А.Р., Соколова В.А. Стохастическая модель оптимизации затрат при планировании технологических процессов лесозаготовок
- Свойкин В.Ф., Евдокимов Б.П., Шостак М.Н. Рациональное лесопользование в Республике Коми: сб. науч. тр. № 5 / под общ. ред. Н.Д. Цхадая. Ухта: УГТУ, 2002. С. 100-105.
- Андронов А.В., Зверев И.А. Исследование параметров, определяющих значение сменной производительности валочно-пакетирующих машин // Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад. 2020. № 233. С. 126-138.
- Казанцев Р.В., Черник Д.В., Карелина А.А. Роботизация лесозаготовительной техники на примере радиоуправляемой модели харвестера // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства: сб. ст. Междунар. науч.-практической конф. (18 дек. 2019 г.). Красноярск, 2020. С. 435-437.
- Свойкин В.Ф., Молчанова А.А. Исследование производительности лесных машин // Февральские чтения: сб. материалов науч.-практической конф. проф.-препод. состава Сыктывкарского лесного ин-та по итогам науч.-исслед. работы в 2013 г. Сыктывкар: СЛИ, 2014. С. 370-373.
- Acuna M., Brown M., Mirowski L. Improving forestry transport efficiency through truck schedule optimization: a case study and software tool for the Australian industry. FORMEC Conference, 2011.Oct 9-12; Graz, Austria.
- Purfürst F.T., Erler J. The human influence on productivity in harvester operations // International Journal of Forest Engineering. 2011. 22. P. 15-22.
- Rönqvist M., D'Amours S., Weintraub A., Jofre A., Gunn E., Haight R.G., Martell D., Murray A.T., Romero C. Operations research challenges in forestry: 33 open problems. Annals of Operations Research. 2015. 232. P. 11-40.
- Timber Matic Maps. Operator's manual. John Deere Timber Matic Maps. Finland, 2020. 126 p.
- Евдокимов Б.П., Кормщикова З.И. Зарубежные лесные машины: моногр. Сыктывкар: СЛИ, 2007. 161 с.
- Дербин В.М., Дербин М.В. Совершенствование сортиментной заготовки древесины // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5. № 1 (17). С. 128-135.
- Дмитриева М.Н., Григорьев И.В., Дмитриева И.Н., Степанищева М.В. Анализ общих закономерностей влияния стажа работы на производительность тех-

- нологического процесса производства сортиментов с использованием харвестера // Системы. Методы. Технологии. 2015. № 1 (25). С. 157-161.
- Deere & Company 2019 Tracked feller bunchers / harvesters John Deere 800M/MH-Series Brochure. 24 p.
- Mantsinen 60. Operator's book. Mantsinen, Finland, 2007. 424 p.
- Ponsse Buffalo. Operator'sbook. Finland, PonsseOyj, 2018. 432 p.
- Свойкин Ф.В., Соколова В.А., Локштанов Б.М. К вопросу о перспективном направлении развития и анализа разработки труднодоступных переувлажненных лесосек с помощью канатных трелевочных установок в СЗФО РФ // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 2 (46). С. 87-93.
- Пискунов М.А. Особенности Российского рынка лесозаготовительной техники // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2020. № 6 (378). С. 132-147.
- Васильев А.С., Ивашнев М.В., Щукин П.О. Многофункциональное оборудование для выполнения широкого спектра работ на лесосеке // Науч. и образовательное пространство: перспективы развития: материалы II Междунар. науч.-практической конф. (24 апр. 2016 г.). Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. С. 272-274.

References

- Walsh D. Quantifying the value recovery improvement using a harvester optimiser. CRC for Forestry Bulletin. 2012. 26:4 p.
- Blagojević B., Jonsson R., Björheden R., Nordström E.-M., Lindross O. Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) in forest operations - an introductory review // Croatian Journal of Forest Engineering. 2019. 40: P. 191-201.
- Svojkin F.V., Bacherikov I.V., Birman A.R., Sokolova V.A. Stochastic cost optimization model for planning logging processes // Systems. Methods. Technologies
- Svojkin V.F., Evdokimov B.P., SHostak M.N. Rational forest management in the Komi Republic: sb. науч. tr. № 5 / pod obshch. red. N.D. Ckhadaya. Uhta: UGTU, 2002. P. 100-105.
- Andronov A.V., Zverev I.A. Investigation of the parameters that determine the value of the shift performance of feller bunchers // Izvestia SPbLTA. 2020. № 233. P. 126-138.
- Kazancev R.V., Chernik D.V., Karelina A.A. Robotization of logging equipment on the example of a radio-controlled harvester model: sb. st. Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (18 dek. 2019 g.). Krasnoyarsk, 2020. P. 435-437.
- Svojkin V.F., Molchanova A.A. Research of productivity of forest machines // Fevral'skie chteniya: sb. materialov nauch.-prakticheskoy konf. prof.-prepod. sostava Syktyvkarskogo lesnogo in-ta po itogam nauch.-issled. raboty v 2013 g. Syktyvkar: SLI, 2014. P. 370-373.

8. Acuna M., Brown M., Mirowski L. Improving forestry transport efficiency through truck schedule optimization: a case study and software tool for the Australian industry. FORMEC Conference, 2011.Oct 9-12; Graz, Austria.
9. Purfürst F.T., Erler J. The human influence on productivity in harvester operations // International Journal of Forest Engineering. 2011. 22. P. 15-22.
10. Rönnqvist M., D'Amours S., Weintraub A., Jofre A., Gunn E., Haight R.G., Martell D., Murray A.T., Romero C. Operations research challenges in forestry: 33 open problems. Annals of Operations Research. 2015. 232. P. 11-40.
11. Timber Matic Maps. Operator's manual. John Deere Timber Matic Maps. Finland, 2020. 126 p.
12. Evdokimov B.P., Kormshchikova Z.I. Foreign forest machines: monogr. Syktyvkar: SLI, 2007. 161 p.
13. Derbin V.M., Derbin M.V. Improving cut-to-length timber // Forestry Engineering Journal. 2015. V. 5. № 1 (17). P. 128-135.
14. Dmitrieva M.N., Grigor'ev I.V., Dmitrieva I.N., Stepanishcheva M.V. Analysis of the general patterns of the influence of work experience on the productivity of the technological process of assortment production using a harvester // Systems. Methods. Technologies. 2015. № 1 (25). P. 157-161.
15. Deere & Company 2019 Tracked feller bunchers / harvesters John Deere 800M/MH-Series Brochure. 24 p.
16. Mantsinen 60. Operator's book. Mantsinen, Finland, 2007. 424 p.
17. Ponsse Buffalo. Operator's book. Finland, PonsseOyj, 2018. 432 p.
18. Svoikin F.V., Sokolova V.A., Lokshtanov B.M. On the issue of a promising direction for the development and analysis of the development of hard-to-reach water-logged cutting areas using rope skidders in the North-West Federal District of the Russian Federation // Systems. Methods. Technologies. 2020. № 2 (46). P. 87-93.
19. Piskunov M.A. Features of the Russian market of logging equipment. Proceedings of higher educational institutions // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2020. № 6 (378). P. 132-147.
20. Vasil'ev A.S., Ivashnev M.V., SHCHukin P.O. Multifunctional equipment for a wide range of work in the cutting area: perspektivy razvitiya: materialy II Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (24 apr. 2016 g.). CHEboksary: CNS «Interaktiv plyus», 2016. P. 272-274.