

ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

TIMBER PROCESSING COMPLEX. TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL QUESTIONS

УДК 630*36:621.9

С. А. Голякевич

Белорусский государственный технологический университет

АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ПРИРОДНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В статье проведен анализ текущего состояния лесозаготовительного производства на предприятиях Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь. Отмечены объемы лесозаготовительного производства в разрезе государственных производственных лесохозяйственных объединений, доли машинной заготовки и оказания лесозаготовительных услуг сторонними организациями. Приведены данные о состоянии машинотракторного парка, его количественного и качественного состава для каждого типа машин. Дана информация о степени износа парка машин и необходимости его обновления. Установлена значительная неравномерность износа техники в рамках отдельных государственных производственных лесохозяйственных объединений. Также отмечено, что несмотря на имеющийся тренд снижения объемов заготовки при увеличении возраста машин, отсутствует явно выраженная корреляционная связь между данными показателями. Кроме того, существуют неединичные примеры, в которых машины, имеющие значительно больший возраст, заготавливают большие объемы древесины. Приведена гипотеза, что данные случаи могут являться следствием существенной разницы в квалификации операторов, которая должна компенсироваться отлаживанием процесса обучения. Отмечена тенденция к увеличению объемов установки навигационного и информационного оборудования на лесозаготовительные машины. Даны направления развития механизированной заготовки в стране.

Ключевые слова: харвестер, форвардер, рубильная машина, прицепная погрузочно-транспортная машина, сортиментовоз, автопоезд, система машин, технология, ресурс, объем заготовки, навигационные системы.

Для цитирования: Голякевич С. А. Анализ и перспективы использования лесозаготовительной техники в природно-производственных условиях республики Беларусь // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 188–195.

S. A. Golyakevich

Belarusian State Technological University

ANALYSIS AND PROSPECTS OF LOGGING TECHNOLOGY IN NATURAL PRODUCTION CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

The article analyzes the current state of logging at the enterprises of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus. The volumes of logging production in the context of state production forestry associations, the share of machine harvesting and rendering of logging services by third-party organizations are noted. The data on the state of the machine and tractor fleet, its quantitative and

qualitative composition for each type of machines are given. Information is given on the degree of wear and tear of the fleet of cars and the need for its renewal. A significant unevenness of the wear of equipment has been established within the framework of individual state production forestry associations SPFAs. It was also noted that, despite the existing trend of a decrease in the volume of workpieces with an increase in the age of machines, there is no clearly pronounced correlation between these indicators. In addition, there are not isolated examples in which machines, which are much older, harvest large volumes of wood. It is hypothesized that these cases may be a consequence of a significant difference in the qualifications of operators, which should be compensated for by debugging the training process. There is a tendency to an increase in the installation of navigation and information equipment on logging machines. Directions for the development of mechanized billeting in the country are given.

Key words: harvester, forwarder, chipper, transport vehicle, log truck, road train, machine system, technology, resource, volume of preparation, navigation systems.

For citation: Golyakevich S. A. Analysis and prospects of logging technology in natural production conditions of the republic of Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246), pp. 188–195 (In Russian).

Введение. Амортизация парка лесозаготовительных и лесотранспортных машин ставит перед лесопромышленными и лесохозяйственными предприятиями задачу последовательной модернизации машинотракторного парка. Замена старых и технически изношенных машин должна осуществляться исключительно на новые, более прогрессивные и имеющие улучшенные потребительские качества. Задача создания таких машин стоит перед отечественными предприятиями лесного машиностроения [1–3]. Обе задачи должны решаться совместно, что требует соответствующего научно-технического сопровождения. В его рамках важно рассмотреть следующие вопросы:

– эффективности эксплуатации лесозаготовительных комплексов «харвестер – форвардер» с учетом видов проводимых рубок, условий эксплуатации, энергетических и компоновочных характеристик машин и т. д.;

– применения способов и приемов работы операторами харвестеров и форвардеров с учетом необходимости интенсификации работы комплекса машин и вариативности последующего использования отходов лесозаготовок;

– экологической совместимости машин с лесной средой в части применения различных колесных движителей, использования комбинированных и гусеничных движителей, соблюдения требований нормативно-правовых актов и систем лесной сертификации.

Выполнение такой комплексной работы должно опираться на предварительное районирование и анализ природно-производственных условий эксплуатации лесосечных и лесотранспортных машин в республике, в том числе в условиях межсезонья [4–7]. В этой связи рационально предварительное выделение опытных производств, имеющих максимально различные

природно-производственные условия ведения лесосечных и лесотранспортных работ с учетом принципа административно-территориального деления в структуре Министерства лесного хозяйства.

Целесообразна разработка руководящих документов или инструкций о существующих и перспективных системах машин для реализации различных технологий лесозаготовительного и лесохозяйственного производств на основе принципов устойчивого лесопользования; создание комплектов технологических схем для проведения рубок различного вида пользования; разработка рекомендаций по внесению изменений в существующие нормативно-правовые акты в области ведения лесозаготовительного производства либо, при необходимости, создание новых нормативно-правовых актов (НПА).

Целью данного исследования являлась разработка перспективных направлений развития механизации лесозаготовительного производства в Республике Беларусь. Объектом исследования выступил машинотракторный парк (МТП) предприятий Министерства лесного хозяйства, предметом исследования – состав, техническое состояние, возраст, производительность и эксплуатационная эффективность МТП. Для достижения цели исследования были поставлены следующие задачи: оценить качество механизации отдельных лесозаготовительных операций и степень изношенности машинотракторного парка, исследовать причины частых отказов техники и разработать направления модернизации машинотракторного парка.

Основная часть. Количественная характеристика фонда лесных машин по предприятиям Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь в последние годы изменяется незначительно. По состоянию на июль 2020 г.

предприятиями Министерства лесного хозяйства (МЛХ) эксплуатируется 2788 ед. лесозаготовительных и лесотранспортных машин. Среди них 305 харвестеров, 353 специализированных форвардера, 823 сортиментовоза и 1307 прицепных погрузочно-транспортных машин. С 2010 г. реализация программы технического оснащения предприятий отрасли позволила увеличить общее количество машин на 1385 ед. В сравнении с аналогичным периодом предыдущего года общее количество харвестеров увеличилось на 2 ед., форвардеров – на 3 ед. сортиментовозов – на 6 ед. и прицепных погрузочно-транспортных машин – на 22 ед. Незначительный рост количества машин в целом и по соответствующим типам свидетельствует о сложившейся структуре машинотракторного парка.

За первое полугодие 2020 г. предприятиями Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь заготовлено 10,757 млн м³ древесины. Из них 3,445 млн м³ заготовлено собственными харвестерами и 1,8 млн м³ харвестерами сторонних организаций, оказывающих лесозаготовительные услуги. Доля механизированной заготовки составила 48,8%. Данные об объемах лесозаготовительного производства в разрезе государственных производственных лесохозяйственных объединений (ГПЛХО) приведены в табл. 1.

Существенное развитие получило оказание услуг подрядными лесозаготовительными комплексами. В среднем ими добывается около 52% всей древесины, заготовленной многооперационными машинами.

На предприятиях МЛХ при проведении рубок главного и ряда рубок промежуточного пользования применяются многооперационные лесозаготовительные машины производства ОАО «Амкордор». Типаж харвестеров представлен 4 образцами (рис. 1, а).

Наиболее полно современными харвестерами укомплектованы предприятия Могилевского ГПЛХО. При общей численности 55 ед. коли-

чество харвестеров старше 5 лет составляет не более 25%. Наибольшее количество харвестеров числится в Минском ГПЛХО – 77 ед. Из них машин старше 3 лет – 45 ед. Большинство машин работает в 2 сменном режиме.

В односменном режиме, как правило, работают старые машины. Наиболее старый парк харвестеров в Витебском ГПЛХО. Лишь 9 ед. из них моложе 3 лет (табл. 2).

Харвестеры Витебского ГПЛХО наиболее продолжительное время находятся в ремонте, в среднем 5,5 сут. на 1 харvester в месяц. 82 дня в ремонте провел харvester ГЛХУ «Россонский лесхоз» 2012 г. в. при объеме заготовки 8,55 тыс. м³ и односменном режиме работы. Низкие показатели его работы и длительные простои обусловлены не только физическим износом машины, но и значительно более тяжелыми условиями ее эксплуатации в данном лесхозе. Для сравнения, наиболее старая машина данного типа работает с 2010 г. в ГЛХУ «Минский лесхоз» и за первое полугодие 2020 г. заготовила 14,4 тыс. м³, работая в одну смену и находясь в этот период лишь 12 сут. в ремонте.

В целом парк харвестеров Министерства лесного хозяйства нуждается в обновлении на 17–35%, что разнится от принадлежности машин к конкретному ГПЛХО.

В сравнении с харвестерами парк форвардеров на предприятиях Министерства лесного хозяйства более старый (табл. 3). Порядка 57,8% форвардеров имеют возраст более 5 лет. Это объясняется тем, что массовое применение форвардеров в лесозаготовительном производстве начато раньше, чем харвестеров. До массового появления в 2010-х гг. харвестеров широко практиковалась технология лесосечных работ с применением бензиномоторных пил и подвозкой сортиментов форвардерами (в наиболее сложных условиях движения), а также прицепными погрузочно-транспортными машинами (в легких условиях движения).

Таблица 1

**Объемы лесозаготовительного производства на предприятиях
Министерства лесного хозяйства**

Наименование ГПЛХО	Всего	Харв. МЛХ	Иными харв.	Процент заготовки харв.
Брестское	1420,0	386,7	212,1	42,2
Витебское	1470,2	474,8	148,1	42,4
Гомельское	2601,5	625,7	424,8	40,4
Гродненское	1326,5	458,9	295,8	56,9
Минское	2160,5	852,9	337,1	55,1
Могилевское	1718,4	645,9	381,8	57,8
<i>Всего</i>	10757,1	3444,9	1799,7	48,8



Рис. 1. Типаж многооперационных лесозаготовительных машин «Амкор»

В Витебском ГПЛХО, обладающем наиболее изношенным парком форвардеров, их ежемесячные простои составляют около 6,5 сут./ед. Простои таких машин в течение полугода со-

ставляют 10–36 сут. Среднесменная выработка наиболее изношенных форвардеров находится в диапазоне 13,6–32,7 м³, что значительно ниже среднеотраслевого показателя – 56,7 м³. Однако, как и в случае с харвестерами, низкая выработка часто является следствием тяжелых эксплуатационных условий.

Среднесменная выработка прицепных погрузочно-транспортных машин в сравнении с форвардерами ниже на 21,8 м³ и составляет 34,9 м³. При этом удельные ежемесячные простои составляют в среднем 3,1 сут.

Следует отметить, что эксплуатация погрузочно-транспортных машин происходит менее интенсивно и преимущественно в условиях I и II типа почвогрунтов. Этим объясняются сопоставимые с форвардерами удельные среднемесячные простои ПТМ (табл. 4), несмотря на их более старый парк (в 44% случаев возраст ПТМ старше 7 лет). В ближайшей перспективе более 500 ПТМ потребуют замены на новые. Процесс перехода на использование ПТМ нового образца должен учитывать ряд отраслевых особенностей.

Сейчас отечественная практика применения тракторов и лесных машин в лесохозяйственном производстве отличается от зарубежной разграниченным применением машин: универсально-пропашных тракторов (сельскохозяйственных) на лесокультурных работах, а специализированных лесных машин и их шасси в лесопромышленном производстве. При этом парк лесхозов в основном состоит из тракторов производства ОАО «Минский тракторный завод»: МТЗ-82 и МТЗ-1221, которыми выполняется большинство лесохозяйственных работ. При этом конструкция данных универсальных тракторов имеет некоторые недостатки, препятствующие их более эффективному использованию на лесозаготовках. В типаже продукции ОАО «Амкор» – управляющая компания холдинга», напротив, присутствуют машины для лесозаготовок – лесные погрузчики, харвестеры, трелевочные машины для хлыстов и сортиментов.

Таблица 2

Эксплуатационные показатели работы харвестеров

Наименование ГПЛХО	Кол-во харв.	В возрасте			Ежемес. простои сут./ед.
		до 3 лет	от 3 до 5 лет	старше 5 лет	
Брестское	41	23	3	15	2,9
Витебское	37	9	7	21	5,5
Гомельское	51	14	16	21	2,9
Гродненское	44	22	5	17	2,3
Минское	77	32	11	34	3,0
Могилевское	55	33	8	14	2,7
<i>Всего</i>	305	134	48	123	3,1

Таблица 3

Эксплуатационные показатели работы форвардеров

Наименование ГПЛХО	Кол-во форв.	В возрасте			Ежемес. простои сут./ед.
		до 3 лет	от 3 до 5 лет	старше 5 лет	
Брестское	47	20	1	26	2,9
Витебское	70	14	9	47	6,5
Гомельское	51	8	16	27	3,5
Гродненское	43	12	7	24	4,2
Минское	88	32	6	50	4,1
Могилевское	54	18	6	30	3,1
<i>Всего</i>	353	104	45	204	4,2

Таблица 4

Эксплуатационные показатели работы ПТМ

Наименование ГПЛХО	Кол-во ПТМ		Ежемес. простои сут./ед.	Среднесм. выруб.
	всего	старше 7 лет		
Брестское	216	110	3,1	34,9
Витебское	210	89	4,6	31,0
Гомельское	323	111	3,0	34,1
Гродненское	117	57	2,0	34,9
Минское	268	121	2,7	36,7
Могилевское	173	90	2,8	38,7
<i>Всего</i>	1307	578	3,1	34,9

С учетом роста объемов выполняемых лесохозяйственных работ, расширения возможности использования современных почвообрабатывающих и лесопосадочных механизмов, сокращения численности механизаторских кадров возрастет необходимость в многофункциональном лесном тракторе для выполнения широкой номенклатуры работ, в том числе и лесотранспортных операций на I и II типах местности.

По предварительным расчетам, общая технологическая потребность лесохозяйственных организаций в энергонасыщенных тракторах (с мощностью двигателя более 120 кВт) не превышает 5–8%, в то время как доля лесохозяйственных тракторов с мощностью двигателя 80–120 кВт может достигать 60–70%. Указанное отличие характерно отражает разницу в механизации лесохозяйственных работ в сравнении с аграрным комплексом, где использование высокоэнергонасыщенных тракторов позволяет снизить себестоимость выполнения работ.

При проведении рубок осветления и прочистки широкое применение нашли харвестеры и форвардеры производства Vimek АВ (рис. 2): харвестеры Vimek 404 и форвардер Vimek 610.2.



Рис. 2. Комплекс многооперационных лесозаготовительных машин Vimek

В структуре Министерства лесного хозяйства эксплуатируется 79 ед. харвестеров и 78 ед. форвардеров Vimek. Среднесменная выработка на каждый харвестер данной марки за первое полугодие 2020 г. составила 25,8 м³ (от 17,7 м³ до 30,8 м³ для различных ГПЛХО), а на каждый форвардер – 31,5 м³ (25,5–40,8 м³). Следует отметить, что для форвардеров Vimek сохраняется относительно большое расстояние вывозки, в среднем – 933 м. Наибольшие расстояния вывозки – 1250 м отмечают в Витебском и Гомельском ГПЛХО. В большинстве случаев это обусловлено неразвитостью сети лесных дорог на участках лесфонда с возрастом древостоев 20–40 лет.

Вывозка заготовленной древесины осуществляется преимущественно сортиментовозными автопоездами прицепного и полуприцепного типа. При общем количестве машин 823 ед., 242 ед. (29%) имеют срок эксплуатации свыше 7 лет и в скором времени потребуют замены. На каждую машину приходится около 3,8 дня среднемесячного простоя. Среднесменная выработка на каждую машину составляет 67,3 м³ (табл. 5).

Среднее расстояние вывозки сортиментов автопоездами в 75% случаев превышает 40 км. Большинство автопоездов-сортиментовозов являются неполноприводными и имеют колесную форму 6×4. Полноприводные поезда составляют менее 20% от общей численности.

Анализ статистических данных позволил оценить среднюю стоимость заготовки древесины франко потребитель – около 15,1 руб./м³.

Таблица 5

Эксплуатационные показатели работы автопоездов-сортиментовозов

Наименование ГПЛХО	Кол-во ПТМ, ед.		Ежемес. простои, сут./ед.	Среднесм. выруб., м ³
	всего	старше 7 лет		
Брестское	118	39	2,9	70,4
Витебское	139	47	5,0	62,7
Гомельское	185	53	3,9	69,2
Гродненское	92	32	2,6	60,7
Минское	163	47	3,9	71,4
Могилевское	126	24	3,8	69,4
<i>Всего</i>	823	242	3,8	67,3

Наряду с заготовкой древесины в сортиментах предприятиями Министерства лесного хозяйства реализуются технологии получения щепы на нижних и промежуточных складах. Для этого применяются мобильные рубильные машины собственного производства, выполненные в виде полуприцепов (МТЗ МР-40, МР-100), на специализированных лесных шасси (Амкодор 2904), а также на базе автомобилей сортиментовозов (МАЗ 6944С9) [8–10].

Отметим, что на лесозаготовках страны не используется гусеничная техника. При этом условия для ее рационального применения существуют в ряде регионов. В основном это лесозаготовительные районы Гомельского и Витебского ГПЛХО, лесфонд которых часто расположен на слабонесущих грунтах, где движение колесной техники затруднительно, а в ряде случаев невозможно. В этой связи важным направлением исследований следует считать изучение экологической совместимости машин с лесной средой в части применения различных колесных движителей, использования комбинированных и гусеничных движителей, соблюдения требований нормативно-правовых актов и систем лесной сертификации [11].

Контроль за эксплуатацией лесных машин осуществляется посредством установки навигационных систем, имеющих возможности передачи данных по сетям мобильных операторов [12, 13]. К настоящему моменту такими системами оснащено 75% харвестеров, 79% форвардеров, 95% автомобилей-сортиментовозов, 90% ПТМ, а также ряд служебных автомобилей и прочей техники, задействованной в производстве.

Широкое распространение навигационного оборудования позволит осуществить переход к эксплуатации единой государственной автоматизированной информационной системе (ЕГАИС) к концу 2020 г. [14, 15].

Заключение. На основе анализа собранных данных об объемах лесозаготовительного производства установлено, что уровень заготовки

древесины многооперационными лесными машинами на предприятиях Министерства лесного хозяйства превысил 50%. При этом большая часть древесины, заготавливаемой машинным способом, получена с привлечением сторонних организаций. Следует считать структуру парка лесозаготовительных машин на предприятиях Министерства лесного хозяйства сложившейся. Ее дальнейшее изменение имеет слабую тенденцию к пропорциональному увеличению каждого типа машин. Существенные структурные изменения возможны в сфере механизации лесохозяйственных операций и при проведении рубок прочистки и прореживания, где существующая техника недостаточно соответствует предъявляемым требованиям или закупается у иностранных производителей. Предприятиями лесного машиностроения страны сформированы и обновляются линейки лесозаготовительных машин для проведения рубок главного пользования. Существенным недостатком следует считать отсутствие отечественных малогабаритных машин, способных осуществлять рубки ухода под пологом леса.

Также отметим существующую тенденцию к увеличению объемов установки навигационного и информационного оборудования на лесозаготовительные машины, что в целом способствует более равномерному переходу к единой государственной автоматизированной информационной системе.

Анализом технического состояния тракторного парка для ряда ГПЛХО установлен тренд снижения объемов заготовки с увеличением возраста машин. В общем случае существенные изменения наблюдаются в возрасте более 3 лет для харвестеров и более 5 лет для форвардеров. Однако при сравнительном анализе объемов выработки машинами разного возраста в целом по стране такая явная корреляционная связь между данными показателями отсутствует. Отмечены неединичные случаи, в которых машины, имеющие значительно больший возраст, заготавливают большие объемы древесины. Причиной этого являются суще-

ственные различия в условиях эксплуатации машин в регионах страны и разница в опыте операторов. В этой связи существует необходимость в проведении научно-практических исследований условий эксплуатации машин в различных регионах страны. В качестве наиболее влияющих факторов следует отметить: почвенно-грунтовые условия движения; типы леса,

виды заготавливаемых сортиментов по породе, размерам и качеству; разреженность лесного фонда и т. д.

Наряду с отмеченными направлениями развития машинотракторного парка следует уделить особое внимание исследованию показателей стоимости владения лесозаготовительной техникой и ее влиянию на себестоимость продукции.

Список литературы

1. Анализ тенденций развития конструкций многооперационных лесозаготовительных машин / С. П. Мохов [и др.] // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 18–20.
2. Жуков А. В. Теоретические основы выбора технических параметров и улучшения эксплуатационных свойств специальных лесных машин: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.21.01. Л., 1987. 315 с.
3. Голякевич С. А. Анализ эксплуатационных режимов работы многооперационных лесозаготовительных машин // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 72–78.
4. Протас П. А., Мисуно Ю. И. Структурная схема и критерии оценки эксплуатационно-экологической совместимости лесных машин с почвогрунтами // Труды БГТУ. 2016. № 2 (184): Лесная и деревообрабатывающая промышленность. С. 248–253.
5. Федоренчик А. С., Корзун И. И. Типизация природно-производственных условий лесозаготовительных районов Беларуси // Труды БГТУ. Сер. VII, Экономика и управление. 2001. Вып. IX. С. 148–153.
6. Толкач И. В. Основные направления развития системы лесоустройства и методов инвентаризации лесов Беларуси // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хозяйство. С. 50–53.
7. Коцан В. В., Севко О. А. Динамика радиального прироста сосновых древостоев с различной пространственной структурой и условиями произрастания // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 2 (222). С. 16–19.
8. Германович А. О. Обоснование параметров мобильной рубильной машины на базе многофункционального шасси для производства топливной щепы: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2015. 26 с.
9. Мохов С. П., Германович, А. О. Анализ конструктивных особенностей рубильных // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 40–44.
10. Германович А. О. Оценка параметров технологического и тягового модулей рубильной машины на самоходном шасси // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 79–82.
11. Стратегический план развития лесохозяйственной отрасли на период 2015–2030 годы: утв. заместителем Премьер-министра Респ. Беларусь 23.12.2014, № 06/201-271. Минск: Совет Министров Респ. Беларусь, 2015. 15 с.
12. Шегельман И. Р., Щеголева Л. В., Лукашевич В. М. Применение ГИС-технологий в изучении климатических и почвенно-грунтовых условий Республики Карелия // Вестник Поморского университета. Сер.: Естественные и точные науки. 2007. № 1 (11). С. 22–27.
13. Wee T.-K. and Kuo, Y.-H. A perspective on the fundamental quality of GPS radio occultation data, *Atmos. Meas. Tech.*, 2015, 8, 4281–4294. URL: <https://doi.org/10.5194/amt-8-4281-2015> (дата обращения 06.01.2021)
14. Hofmann-Wellenhof B., Lichtennrger H., Collins J. *Global Positioning System: Theorie and Praxis*. Springer; Wien; New York, 1992. 306 p.
15. Голякевич С. А., Пищов С. Н. Информационные технологии в лесном комплексе. Минск: БГТУ, 2018. 123 с.

References

1. Mokhov S. P., Golyakevich S. A., Pishchov S. N., Ariko S. Ye. Analysis of trends in the development of multioperational forest machines. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 18–20 (In Russian).
2. Zhukov A. V. *Teoreticheskiye osnovy vybora tekhnicheskikh parametrov i uluchsheniya ekspluatatsionnykh svoystv spetsial'nykh lesnykh mashin. Dis. dokt. tekhn. nauk* [Theoretical bases of a choice of technical parameters and improvement of operational properties of special forest machines: Diss of DSc (Engineering)]. Leningrad., 1987. 315 p.
3. Golyakevich S. A. Analysis of operational modes of operation of multi-operative logging machines. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 72–78 (In Russian).

4. Protas P. A., Misuno Yu. I. Structural scheme and the criteria for assessing the operational and environmental forest machines compatible with soils. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 248–253 (In Russian).

5. Fedorenchik A. S., Korzun I. I. Typing the natural-production conditions of harvesting areas in Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series VII, Economics and Management, 2001, issue IX, pp. 148–153 (In Russian).

6. Tolkach I. V. The main directions of developed of forest management and methods of forest inventory of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 50–53 (In Russian).

7. Kotsan V. V., Sevko O. A. Dynamics of radial growth of pine stands with different spatial structure and growing conditions. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 2 (222), pp. 16–19 (In Russian).

8. Germanovich A. O. *Obosnovaniye parametrov mobil'noy rubil'noy mashiny na baze mnogo-funktional'nogo shassi dlya proizvodstva toplivnoy shchepy. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Parameters substantiation of mobile chipper based on multifunctional chassis for wood chips production. Abstract of thesis cand. of engineer. sci.]. Minsk, 2015. 26 p.

9. Mokhov S. P., Germanovich A. O. Analysis of the design features of chipping machines. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry. pp. 40–44 (In Russian).

10. Germanovich A. O. Estimation of parameters of technological and traction modules of the chipper on a self-propelled chassis. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 79–82 (In Russian).

11. *Strategicheskiy plan razvitiya lesokhozyaystvennoy otrasli na period 2015–2030 gody.* [Strategic plan for the development of the forestry sector for the period 2015–2016]. Minsk, Sovet Ministrov Respubliki Belarus' Publ., 2015. 15 p.

12. Shegel'man, I. R., Shchegoleva, L. V., Lukashevich V. M. Application of GIS technology in the study of climatic and soil conditions of the Republic of Karelia. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta* [Vestnik of Northern (Arctic) Federal University], series: Natural Sciences, 2007, no. 1 (11), pp. 22–27 (In Russian).

13. Wee T.-K. and Kuo Y.-H. A perspective on the fundamental quality of GPS radio occultation data, *Atmos. Meas. Tech.*, 2015. 8, 4281–4294. Available at: <https://doi.org/10.5194/amt-8-4281-2015> (accessed 6.01.2021).

14. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J. *Global Positioning System: Theorie and Praxis.* Springer; Wien; New York, 1992. 306 p.

15. Golyakevich S. A., Pishchov S. N. *Informatsionnyye tekhnologii v lesnom komplekse* [Information technologies in the forest complex]. Minsk, BGTU Publ., 2018. 123 p.

Информация об авторах

Голякевич Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Сverdlova, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gsa@belstu.by

Information about the author

Golyakevich Sergey Aleksandrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gsa@belstu.by

Поступила 20.03.2021