

УДК 630*36:621.9

С. А. Голякевич¹, М. К. Асмоловский¹, Е. А. Станкевич²¹Белорусский государственный технологический университет²ОАО «Сморгонский агрегатный завод»**КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНОГО
ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА С ЭЛЕКТРОСИЛОВЫМ ПРИВОДОМ
ДЛЯ МЕХАНИЗАЦИИ РАБОТЫ В ТЕПЛИЦАХ ЛЕСОПИТОМНИКОВ**

В статье проведен анализ лесопитомничьего хозяйства Республики Беларусь. Отмечены основные производственные характеристики такого хозяйства. Описаны технологии выращивания лесных культур в теплицах, их конструкции и применяемое в настоящее время оборудование. Указано, что наиболее перспективным направлением механизации работ в теплицах является использование малогабаритных тракторов с электрической тягой либо тракторов с дизельным силовым агрегатом, оборудованным камерами и возможностью дистанционного управления посредством STL-каналов связи. Оценены перспективы таких способов и по результатам анализа предложено создание малогабаритного трактора на электрическом ходу. В качестве положительного эффекта от его внедрения указаны: улучшение условий труда оператора в закрытом пространстве теплицы, возможность полного контроля машины и присутствия непосредственно в месте осуществления работ.

Проанализированы конструкции малогабаритных тракторов, производимых отечественными предприятиями, а также существующее для них навесное и прицепное технологическое оборудование. В качестве базового шасси для таких машин принят трактор Беларус-152 производства ОАО «Сморгонский агрегатный завод». Рассмотрены варианты разработки технологического оборудования для дополнительного оснащения перспективного трактора. В заключении статьи приводятся проблемные вопросы, которые необходимо решить в рамках НИОКР при создании подобных тракторов.

Ключевые слова: лесопитомник, теплица, трактор, малые габариты, электросиловой привод, дистанционное управление, энергия, выращивание, технология, оборудование.

S. A. Golyakevich¹, M. K. Asmolovskiy¹, Ye. A. Stankevich²¹Belarusian State Technological University²OJSC “Smorgon Assembly Plant”**THE CONCEPT OF A SMALL SIZE FORESTRY TRACTOR
WITH ELECTRIC POWER DRIVE FOR MECHANIZATION OF WORK
IN GREENHOUSES OF FORESTRY**

The article considers analysis of forestry and farming of the Republic of Belarus is carried out. The main production characteristics of such an economy are noted. The technologies for growing forest crops in greenhouses, their design and currently used equipment are described. It is indicated that the most promising area of mechanization of work in greenhouses is the use of small tractors with electric traction or tractors with a diesel power unit equipped with cameras and the ability to remotely control via STL communication channels. The prospects of such methods are estimated and, based on the analysis results, the creation of a small-sized tractor on an electric course is proposed. The following are indicated as a positive effect of its implementation: improvement of the operator's working conditions in the enclosed space of the greenhouse, the possibility of complete control of the machine and presence directly at the place of work.

The designs of small tractors manufactured by domestic enterprises, as well as the mounted and trailed technological equipment existing for them, are considered. The Belarus-152 tractor manufactured by OJSC “Smorgon Assembly Plant” was adopted as the basic chassis for such machines. The development options of technological equipment for additional equipment of a promising tractor are considered. The article concludes with problematic issues, that need to be addressed within the framework of R&D when creating such tractors.

Key words: nursery, greenhouse, tractor, small size, electric power drive, remote control, energy, cultivation, technology, equipment.

Введение. Внедрение в лесохозяйственное производство новых видов техники является

приоритетным направлением инвестиционной деятельности в лесном хозяйстве. Такие инвестиции

позволяют значительно сократить, а часто и исключить тяжелый ручной труд, улучшить условия труда работников лесного хозяйства, повысить его качество и эффективность. Глобальной мировой тенденцией механизации является переход на использование машин с электросиловыми приводами двигателей и оборудования. Одним из перспективных направлений их применения в лесном хозяйстве является механизация работ в закрытых теплицах лесопитомников.

Целью данной работы является анализ перспектив использования малогабаритных тракторов с электрической тягой для работы в теплицах лесопитомников.

Основная часть. В системе Министерства лесного хозяйства насчитывается 74 постоянных лесных питомника общей площадью свыше 1,3 тыс. га. В целом по отрасли построено 69 теплиц общей площадью 3,7 га. Общая площадь имеющихся теплиц уже составляет 17,71 га, в том числе с осуществлением рампового полива – 2,9 га (28 теплиц).

Всего в питомниках лесхозов выращивается около 415 млн шт. стандартного посадочного материала. В теплицах выращено более 33,7 млн шт., в том числе 20,8 млн. шт. посадочного материала с закрытой корневой системой.

Таким образом, выращивание посадочного материала для нужд лесовосстановления [1–6] широко распространено в лесхозах республики. Опыт показывает, что перспективным для лесовосстановления является молодой (возраст 1–2 года), но достаточно крупный посадочный материал, который хорошо приживается и лучше противостоит зарастанию травянистой растительностью. Таким требованиям отвечают сеянцы, выращенные в теплицах. Экологические условия в теплицах в сочетании с регулярными поливами обуславливают более высокую энергию прорастания и грунтовую всхожесть семян по сравнению с открытыми питомниками, особенно это актуально для ели европейской, показатели грунтовой всхожести которой в открытом грунте являются проблемой.

В последние годы основные объемы инвестиций использованы на приобретение техники для выполнения работ [7], техническое переоснащение и развитие инфраструктуры питомнического хозяйства, строительство новых питомников и теплиц в целях выращивания посадочного материала для создания лесных культур, декоративного посадочного материала, выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой. В результате лесное хозяйство обеспечено полностью собственным посадочным материалом, а ежегодная реализация на экспорт составляет порядка 33 млн шт., в целом питомническое хозяйство является окупаемым.

Развитие тепличного хозяйства лесхозов необходимо увязать с введенными в эксплуатацию и планируемыми к строительству тепличными комплексами. Тепличное хозяйство лесхозов должно быть представлено современными теплицами с рамповым поливом и системой автоматического контроля микроклимата.

Для выращивания посадочного материала могут использоваться крупногабаритные передвижные теплицы, которые бывают блочного или тоннельного типа и состоят из взаимосвязанных секций, высота которых 2,5 м, ширина 6,0–7,5 м, длина может быть различной. Основные требования, предъявляемые к конструкции теплиц: их ветроустойчивость, удобство и простота в эксплуатации, возможность комплексной механизации работ. Этим требованиям в наибольшей мере удовлетворяют стационарные теплицы, в которых посадочный материал выращивают на специальном субстрате на поверхности земли. Габариты этих теплиц позволяют механизировать все технологические операции по выращиванию посадочного материала, а с помощью автоматики – создавать и поддерживать в заданных пределах оптимальные режимы освещения, влажности и температуры почвы и воздуха.

Стационарные теплицы в зависимости от формы перекрытия крыши, вида и материала несущих конструкций, материала покрытий, характера микроклимата и т. д. подразделяются на различные типы. Чаще стационарные теплицы бывают блочного и арочного типов. Первые состоят из отдельных блоков, высота которых в карнизе составляет 2,2 м, в коньке – 4,1 м, ширина – 6 м, длина – 48 м. Теплицы арочного типа имеют несущие конструкции в виде арок.

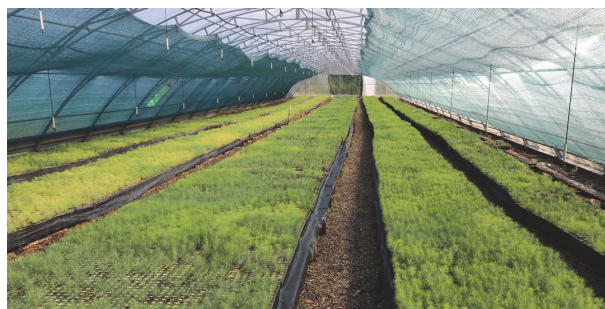


Рис. 1. Теплица лесопитомника (вид внутри)

Исследованиями [8] подтверждено, что проведение комплекса агротехнических мероприятий, включающих регулярные поливы, внесение в субстрат минеральных удобрений, проведение подкормок комплексным удобрением со сбалансированным соотношением макро- и микроэлементов, борьбу с болезнями и сорняками с использованием современных средств защиты, позволяет добиться высокого выхода

стандартных сеянцев с 1 м² площади теплицы. Такая технология в закрытом грунте способствует высокой грунтовой всхожести семян, которая для сосны составляет 90–92%, а выход стандартных сеянцев в пересчете на 1 га закрытого грунта составляет порядка 10 млн шт. Однолетние сеянцы сосны, выращенные в теплице, по средней высоте и диаметру корневой шейки значительно превосходят нормативные биометрические показатели. При этом агротехника и технология выращивания требуют постоянного совершенствования в связи с необходимостью применения новых средств механизации.

Для выращивания сеянцев в стационарных теплицах используют рыхлый субстрат, который слабо уплотняется и не требует рыхлений, мало заселен семенами трав, обладает антисептическими свойствами и не имеет инфекционных грибных болезней. Одним из лучших субстратов является фрезерный верховой торф. Он не слеживается, характеризуется хорошими водно-воздушными свойствами и высокой стерильностью. Перед посевом готовят ряды шириной 1,0–1,2 м, которые отделяют междурядковыми дорожками шириной 0,3–0,4 м. Посев семян может производиться при температуре субстрата 5–6°С.

Применяемая в настоящее время технология выращивания посадочного материала, в том числе в защищенном грунте (обработка почвы и т. д.), в основном базируется на применении тракторов класса тяги 6 кН (МТЗ-320.4) [8] и заключается в том, что непосредственно перед посевом осуществляется фрезерование субстрата с нарезкой посевных лент. Посев проводится сеялкой «Эгедадь». Семена высеваются вразброс, норма высева составляет 78 кг/га, глубина заделки – 0,5 см. После этого посева прикатывают катком и мульчируют торфом слоем 1,0–1,5 см. Все виды подкормок проводятся трактором, агрегируемым с культиватором ГС «Эгедадь». Однако существенными недостатками применения тракторов высокого тягового класса являются значительные габариты агрегатов, сформированных на его базе, и большой выброс остаточных газов, что позволяет использовать их только при работе на открытом грунте.

Ограниченное пространство теплицы не дает возможности применять трактор общего назначения, а использование малогабаритных тракторов с дизельным двигателем приводит к значительному загрязнению продуктами сгорания закрытого пространства теплицы, задымлению и созданию неприемлемых для работы людей условий. Поэтому большинство проводимых работ приходится выполнять вручную, что актуализирует разработку научных подходов, необходимость обоснования технологий и машин

для комплексной механизации тепличного хозяйства лесопитомников.

Существует несколько возможностей обеспечения требуемых условий работы в закрытых теплицах лесопитомников. Это разработка систем удаленного управления тракторами посредством STS-каналов беспроводной связи [9], при которой оператор может находиться вне теплицы и получать информации с камер, установленных на тракторе, либо создание малогабаритного трактора с электросиловым приводом, при использовании которого исключается возможность выброса вредных веществ в атмосферу.

Использование тракторов с электротрансмиссией представляется наиболее предпочтительным [10–14], так как обеспечивается непосредственное присутствие человека в месте проведения работы, что позволяет оперативно вносить изменения в процесс работы машины при возникновении производственной необходимости. Базой для таких малогабаритных тракторов могут стать уже существующие образцы с дизельным двигателем. Их производство в Республике Беларусь налажено на ОАО «Сморгонский агрегатный завод». Наиболее предпочтительным для этого является трактор Беларус-152 (рис. 2).



Рис. 2. Малогабаритный трактор Беларус-152 (ОАО «Сморгонский агрегатный завод»)

Помимо малых габаритов, трактор с электросиловым приводом должен иметь возможность агрегатироваться с большинством существующего и перспективного технологического оборудования, предназначенного для работы в лесопитомниках. В настоящее время ОАО «Сморгонский агрегатный завод» выпускает широкую номенклатуру навесных и прицепных, активных и пассивных рабочих органов для малогабаритного трактора «Беларус-152 (рис. 3).

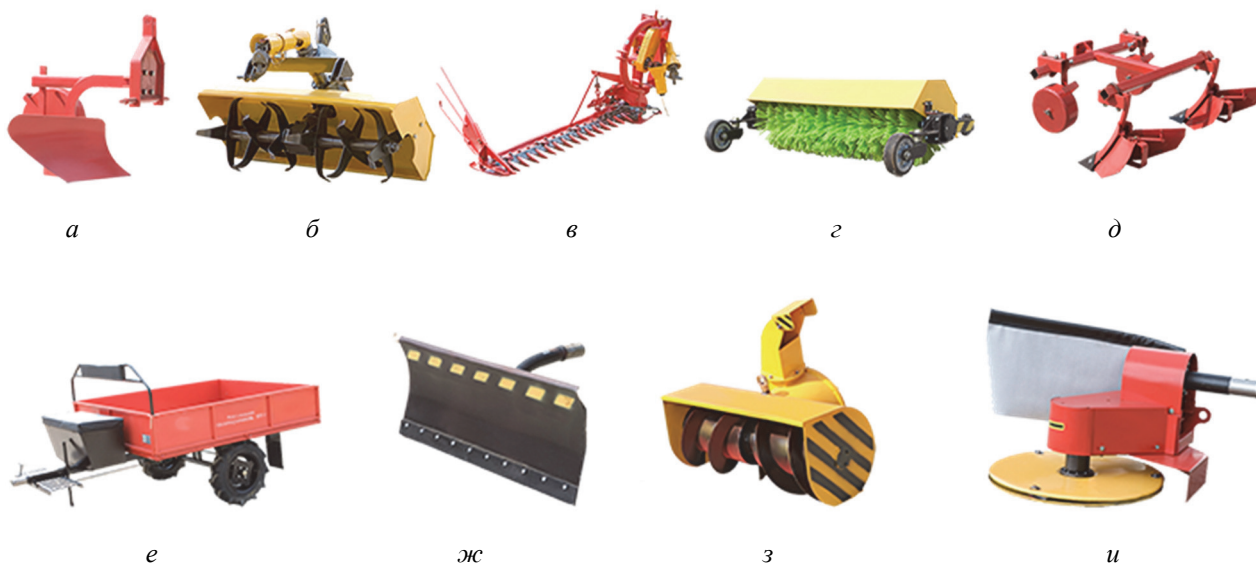


Рис. 3. Навесное и прицепное оборудование для малогабаритных тракторов, выпускаемое на ОАО «Сморгонский агрегатный завод»:
а – плуг универсальный; *б* – фреза почвенная; *в* – косилка малогабаритная;
г – коммунальные щетки; *д* – универсальный окучник; *е* – прицеп; *ж* – отвал навесной;
з – снегоочиститель; *и* – косилка роторная

Вне зависимости от выбранного направления создания трактора [15] (дистанционно управляемый или с электротягой) существует возможность последующей автоматизации процесса движения трактора на основе использования управляющих компьютерных программ. При этом зона работы трактора может ограничиваться сенсорными вешками, выставленными по контуру обрабатываемого участка, либо координатами GPS/ГЛОНАСС. В первом случае достигается наибольшая точность позиционирования трактора, во втором – возможна наиболее простая реализация движения.

Заключение. Создание тракторов с электросиловым приводом требует глубокого анализа мер обеспечения безопасности и комфорта оператора и использования большого количества актуальных и перспективных технологий, которые ранее не применялись на лесохозяйственной технике. Разработка таких машин является важной научно-практической задачей, которая ранее не решалась в отечественном лесном машиностроении. Использование в конструкциях машин ряда новых технических решений требует разработки математических моделей и компьютерных программ для оценки тяговых свойств и обеспечения рациональной энергонасыщенности, анализа режимов технологического нагружения, моделирования работы при-

вода, оценки параметров производительности и экономичности с их последующим анализом. Кроме теоретического обоснования требуются практические испытания электросиловых установок и их отдельных узлов в лабораторных, полигонных и типичных эксплуатационных условиях.

На начальном этапе создания малогабаритного трактора с электросиловым приводом необходимо осуществить оценку его тяговых, сцепных свойств и запаса хода при работе с почвенными фрезами и прицепами. В дальнейшем номенклатура используемого оборудования может расширяться. К примеру, перспективным вариантом модернизации щеточного коммунального оборудования является применение вместо щеточных наборных элементов специальных дисков с заданным расстоянием между ними для нарезки посевных лент.

Возможности агрегатирования с широкой линейкой существующего и перспективного оборудования позволят такому трактору быть задействованным круглогодично не только для обслуживания тепличного хозяйства, но и при работе в лесопитомниках на открытом грунте.

Разработка трактора с электросиловой трансмиссией также может стать перспективной научно-технической основой для создания полногабаритных тракторов с электросиловым приводом.

Список литературы

1. Родин А. Р. Интенсификация выращивания лесопосадочного материала. М.: Агропромиздат, 1989. 78 с.

2. Якимов Н. И., Гвоздев В. К., Праходский А. Н. Лесные культуры и защитное лесоразведение. Минск: БГТУ, 2007. 311 с.
3. Крук Н. К., Якимов Н. И., Волкович А. П. Современные технологии выращивания саженцев в уплотненной школе // Труды БГТУ. 2013. № 1: Лесное хоз-во. С. 152–156.
4. Носников В. В., Волкович А. П. Особенности выращивания посадочного материала липы мелколистной // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во. 2008. Вып. XVI. С. 194–195.
5. Kim Y. J., Filipi Z. Simulation study of a series hydraulic hybrid propulsion system for a light truck // SAE Technical Paper 2007-01-4151. Allegeini: Evoqua Water Technologies LLC, 2007. 17 p.
6. Якимов Н. И., Крук Н. К., Юрня А. В. Агротехника выращивания сеянцев сосны обыкновенной в условиях закрытого грунта // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 1 (204). С. 25–30.
7. Анализ тенденций развития конструкций многооперационных лесозаготовительных машин / С. П. Мохов [и др.] // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 18–20.
8. Наставление по выращиванию посадочного материала древесных и кустарниковых видов в лесных питомниках Республики Беларусь: ТКП 575-2015/ПР1. Введ. 15.12.2015. Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2015. 60 с.
9. Голякевич С. А., Пищов С. Н. Информационные технологии в лесном комплексе. Минск: БГТУ, 2018. 123 с.
10. Голякевич С. А. Энергетические аспекты функционирования многооперационных лесозаготовительных машин // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 26–28 апр. 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 64–68.
11. Голякевич С. А., Гороновский А. Р., Мохов С. П. Результаты имитационного моделирования работы гидравлической системы форвардера в MatLab / Simulink / Simscape // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 1 (216). С. 126–131.
12. Yan Shuai, Sun Weichao. Energy regeneration scheme and self-powered criterion of motor-driven active suspension // 35th Chinese Control Conference, Chengdu China, 27–29 July, 2016. Chengdu China, 2016. P. 8926–8931.
13. Hesse K. Components and systems for tractor, stacker and combine // Bosch Rexroth Mobile Training. Elchingen, 2003. P. 18–20.
14. An interactive simulation system for modeling stands, harvests, and machines / J. Wang [et al.] // Journal of forest engineering. 1999. Vol. 10, no. 1. P. 81–99.
15. 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.

References

1. Rodin A. R. *Intensifikatsiya vyrashchivaniya lesoposadochnogo materiala* [Intensification of growing forest planting material]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1989. 78 p.
2. Yakimov N. I., Gvozdev V. K., Prahodskiy A. N. *Lesnye kul'tury i zashchitnoye lesorazvedeniye* [Forest plantations and protective wood cultivation]. Minsk, BGTU Publ., 2007. 312 p.
3. Kruk N. K., Yakimov N. L., Volkovich A. P. Modern technology of growing seedlings in compacted school. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 1: Forestry, pp. 152–156 (In Russian).
4. Nosnikov V. V., Volkovich A. P. Features of cultivation of planting material Linden. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry, 2008, issue XVI, pp. 194–195 (In Russian).
5. Kim Y. J., Filipi Z. Simulation study of a series hydraulic hybrid propulsion system for a light truck. *SAE Technical Paper 2007-01-4151*, Allegeini, Evoqua Water Technologies LLC Publ., 2007. 17 p.
6. Yakimov N. I., Kruk N. K., Yurenya A. V. Agricultural cultivation of seedlings of scots pine in a greenhouse. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2018, no. 1 (204): Forestry, Nature Management and Renewable Resources Processing, pp. 25–30 (In Russian).
7. 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], series 1, Forest and Woodworking Industry, 2012, no. 1 (209), pp. 18–20 (In Russian).
8. ТКП 575-2015/ПР1. The manual on the growing of planting material of tree and shrub species in forest nurseries of the Republic of Belarus. Minsk, Ministry of Forestry of Republic of Belarus Publ., 2015. 60 p. (In Russian).
9. Golyakevich S. A., Pishchov S. N. *Informatsionnye tekhnologii v lesnom komplekse* [Information technologies in the forest complex]. Minsk, BGTU Publ., 2018. 123 p.

10. Golyakevich S. A. Energy aspects of multioperational forest machines functioning. *Lesozagotovitel'noe proizvodstvo: problemy i resheniya: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Logging production: problems and solutions: materials of International scientific and technical conference]. Minsk, 2017, pp. 64–68 (In Russian).

11. Golyakevich S. A., Goronovskiy A. R., Mohov S. P. Results of simulation modeling of the hydraulic system of forwarder in MatLab / Simulink / Simscape. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry, Nature Management and Renewable Resources Processing, 2019, no. 1 (216), pp. 126–131 (In Russian).

12. Yan Shuai, Sun Weichao. Energy Regeneration Scheme and Self-powered Criterion of Motor-driven Active Suspension. *35th Chinese Control Conference*, Chengdu China, 2016, pp. 8926–8931.

13. Hesse K. Components and systems for tractor, stacker and combine. *Bosch Rexroth Mobile Training*. Elchingen, 2003, pp. 18–20.

14. Wang J. [et al.] An interactive simulation system for modeling stands, harvests, and machines. *Journal of Forest Engineering*, 1999, vol. 10, no. 1, pp. 81–99.

15. Zhukov A. V. *Teoreticheskie osnovy vybora tekhnicheskikh parametrov i uluchsheniya ekspluatatsionnykh svoystv spetsial'nykh lesnykh mashin: dis. ... d-ra tekhn. nauk*. Theoretical bases of a choice of technical parameters and improvement of operational properties of special forest machines: abstract of thesis DSc (Engineering). Leningrad, 1987. 315 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. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gsa@belstu.by

Асмоловский Михаил Корнеевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: asmolovsky@belstu.by

Станкевич Евгений Александрович – главный инженер. ОАО «Сморгонский агрегатный завод» (231000, г. Сморгонь, пр-т Индустриальный, 27, Республика Беларусь). E-mail: saz_pr@tut.by

Information about the authors

Golyakevich Sergey Aleksandrovich – PhD (Engineering), Associated 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

Asmolovskiy Mikhail Korneevich – PhD (Engineering), Associated Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: asmolovsky@belstu.by

Stankevich Yevgeniy Aleksandrovich – Chief Engineer. OJSC “Smorgon Assembly Plant” (27, Industrialniy Ave., 231000, Smorgon, Republic of Belarus). Email: saz_pr@tut.by

Поступила 10.03.2020