

УДК 630*36:621.9

С. А. Голякевич

Белорусский государственный технологический университет

**ИМИТАЦИОННОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ
«NO STRESS» РУБИЛЬНОЙ МАШИНЫ**

В статье рассмотрены общие принципы имитационного моделирования технологического оборудования рубильной машины в составе рубильного барабана и подающего транспортера, приводимых в движение от автономного двигателя. Рассмотрено моделирование системы управления «No stress» рубильным модулем. Данные, используемые в статье, соответствуют выполнению операции измельчения древесины. При разработке имитационной модели была использована среда Matlab с пакетами приложений Simulink/Simscape. В основе модели лежит привод рубильного модуля Kesla C645 мобильной рубильной машины «АМКОДОР 2904». В статье изложены технические характеристики компонентов моделируемой мехатронной системы и диапазоны их изменения. Даны разъяснения работы логической цепочки системы управления и отклика управляемых систем. При реализации модели были приняты следующие допущения: модель автономного двигателя описывается его внешней скоростной характеристикой; привод барабана от двигателя выполнен абсолютно жестким и не учитывает инерционности масс привода и жесткости соединительных звеньев. Модель не учитывает параметры конструкции рубильного барабана, последовательность резания древесины резцами, время регулирования привода подачи сырья и связанные с этим задержки срабатывания исполнительных гидромоторов.

В качестве примера приведены данные о режимах работы привода при измельчении стволовой древесины. В заключении статьи приводятся рекомендации по дальнейшему использованию имитационной модели.

Ключевые слова: рубильная машина, модель, режим, система управления «No stress», привод, управление, алгоритм, Matlab, Simulink.

S. A. Golyakevich

Belarusian State Technological University

**COMPUTER SIMULATION MODELING
OF THE SYSTEM “NO STRESS” CHIPPER**

The article discusses the general principles of simulation modeling of technological equipment of the chipper as part of the chipper drum and feed conveyor driven by an autonomous engine. The modeling of the control system “No stress” by the chipping module is considered. The data used in the article correspond to the operation of chopping wood. When developing the simulation model, the Matlab environment with the Simulink / Simscape application packages was used. The model is based on the Kesla C646 chopper module drive of the AMKODOR 2904 mobile chopper. The article describes the technical characteristics of the components of the simulated mechatronic system and the ranges of their changes. Explanations are given of the operation of the logical chain of the control system and the response of the managed systems. When implementing the model, the following assumptions were made: the autonomous engine model is described by its external speed characteristic; the drum drive from the engine is absolutely rigid and does not take into account the inertia of the masses of the drive and the rigidity of the connecting links. The model does not take into account the design parameters of the chopping drum, the sequence of cutting wood with cutters, the regulation time of the feed water supply and the associated operation delays of the actuating motors. As an example, data are given on the operating modes of the drive when grinding stem wood. The article concludes with recommendations for the further use of the simulation model.

Keywords: chipper, model, mode, control system “No stress”, drive, control, algorithm, Matlab, Simulink.

Введение. Практика эксплуатации лесозаготовительных машин показывает, что использование в их конструкции систем автоматизированного управления рабочими органами позволяет существенно повысить их производительность, экономичность и в целом эксплуатационную эффективность [1–5]. Наиболее существенно это

проявляется в энергонасыщенных многооперационных машинах. Подобные системы отвечают за автоматическое выполнение циклически повторяющихся операций, участвуют в синхронизации движения элементов рабочих органов, следят за комфортностью условий труда оператора, а также обеспечивают защиту самих рабочих

органов от эксплуатационных повреждений. Существуют также автоматизированные системы, в которых проявляется сразу несколько из приведенных выше свойств. Одной из них является система управления подачей сырья в рубильной машине. В литературе [6, 7, 8] такие системы получили краткое наименование «No stress», что указывает на первоочередную ее функцию – обеспечить защиту рубильного модуля от перегрузок.

Проведенное имитационное моделирование работы данной системы позволило установить ряд ее важных дополнительных качеств. При переработке сырья, требующего высоких энергозатрат, использование данной системы способно существенно повысить эксплуатационную эффективность машины.

Основная часть. Имитационное моделирование проводилось для рубильной машины «АМКОДОР 2904» (рис. 1) с рубильным модулем Kesla C645, подключенным к автономному двигателю Deutz TCD 2013 L06 4V. Технические характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Технические характеристики
рубильной машины «АМКОДОР 2904»**

Наименование параметра	Значение
Рубильный модуль	Kesla c645
Габариты загрузочного окна, мм:	
ширина	600
высота	450
Высота выгрузки щепы	5500
Размер ячеек калибровочного сита, мм	50×50
Манипулятор	Kesla 600
Вылет стрелы манипулятора, мм	8200
Момент грузовой, кН·м	80
Грузоподъемность при максимальном вылете (без учета веса ротатора и захвата), кг	740
Угол поворота в горизонтальной плоскости, град.	380
Диаметр охватываемого дерева грейфером (минимальный), мм	45
Площадь охвата грейфера, м ²	0,15
Автономный двигатель	Deutz TCD 2013L06 4V 238 кВт (324 л.с.) при 2200 об/мин

В качестве загрузочного устройства на рубильной машине «АМКОДОР 2904» установлен манипулятор Kesla 600. Аналогичный манипулятор также устанавливается на форвардеры 2661-01, 2662, 2682-01. Его имитационное моделирование осуществлялось ранее [9, 10], как манипулятора

форвардера «АМКОДОР 2661-01». Гидравлическая система его привода, питающий двигатель и система управления манипулятором, чувствительная к нагрузке, на рассматриваемой модели рубильной машины также аналогична форвардеру 2661-01.

Технически привод отдельных органов рубильного модуля реализован следующим образом. Рубильный барабан и вентилятор выброса щепы приводятся в действие механически от двигателя, через защитную муфту сцепления, карданную и ременную передачи с передаточным числом 2,27.

Транспортер и подающий валец загрузочного окна приводятся в действие двумя гидромоторами, подключенными в гидравлической схеме последовательно. За счет этого достигается синхронность их вращения. Источником энергии при этом является отдельный гидравлический насос, подключенный к автономному двигателю Deutz TCD 2013 L06 4V.



Рис 1. Рубильная машина «АМКОДОР 2904»

Основной задачей автоматизированной системы управления рубильным модулем является слежение за частотой вращения рубильного барабана (а также двигателя) при изменяющейся нагрузке и в случае ее падения ниже 500 об/мин осуществление остановки подающего транспортера и, соответственно, поступающего древесного сырья.

Технически частота вращения барабана регистрируется соответствующим датчиком. Система управления сравнивает частоту вращения в текущий момент времени с предыдущим. Если наблюдается возрастание частоты вращения и ее величина не превышает 1000 об/мин, то нагрузка на барабан не подается. При достижении частоты вращения 1000 об/мин включается подающий транспортер и на рубильном барабане, при наличии сырья, возникает полезная нагрузка. В случае регистрации отрицательного градиента частоты вращения до уровня не ниже 500 об/мин – работа подающего транспортера сохраняется. При падении частоты вращения ниже 500 об/мин гидравлическая система привода подающего транспортера блокируется и вновь возобновляется только после достижения частоты вращения барабана 1000 об/мин. Таким

образом обеспечивается защита двигателя от перегрузки. Такая работа системы управления характерна для крупного древесного сырья. При этом измельчение сырья происходит импульсно, что сказывается на производительности работы. Работа рубильного модуля в имитационной модели (схема модели – рис. 2) реализована в среде MATLAB/Simulink с использованием библиотек Simscape следующим образом.

При реализации модели были приняты следующие допущения: модель автономного двигателя описывается его внешней скоростной

характеристикой; привод барабана от двигателя выполнен абсолютно жестким и не учитывает инерционности масс привода и жесткости соединительных звеньев. Также модель не учитывает параметры конструкции рубильного барабана, последовательность резания древесины резцами, время регулирования привода подачи сырья и связанные с этим задержки срабатывания исполнительных гидромоторов. Данные допущения незначительно влияют на точность определения энергетических характеристик привода и параметров работы системы в целом.

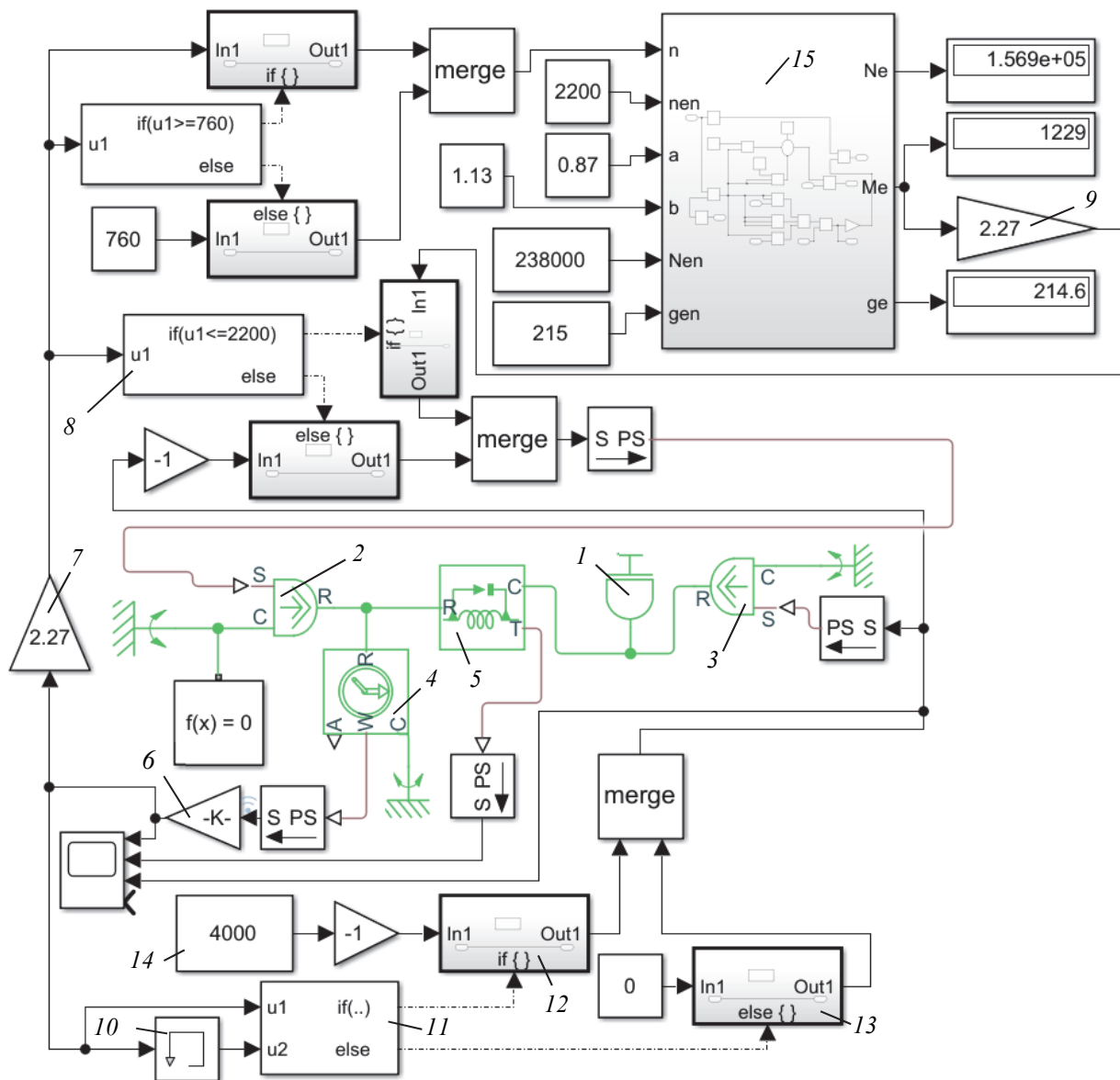


Рис. 2. Схема имитационной модели привода рубильного барабана с системой управления «No stress»:
 1 – рубильный барабан; 2 – источник крутящего момента; 3 – источник момента сопротивления;
 4 – датчик частоты вращения; 5 – датчик крутящего момента; 6 – блок «Gain» для преобразования размерности; 7, 9 – блоки «Gain», имитирующие передаточное число ременной передачи;
 8 – блок переключателя по условию; 10 – блок памяти «Memory»; 11 – блок условного перехода «if/else»;
 12, 13 – блоки действия «If action»; 14 – блок задания величины сопротивления вращению барабана;
 15 – модель двигателя

Барабан 1 (рис. 2) задан в виде инерционной вращающейся массы «*Inertia*», приводимой в движение потоком мощности от ременной передачи. Момент инерции барабана принят равным $97 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ на основании предварительного трехмерного конечно-элементного моделирования его конструкции. Крутящий момент подводится к барабану с использованием элемента *Simulink* «*Ideal Torque Source*» 2 (рис. 2) (источник крутящего момента)

Внешние силы сопротивления, действующие на барабан со стороны измельчаемой древесины, заданы с другой стороны аналогичным образом 3 (рис. 2).

Регистрация мгновенных значений частоты вращения барабана и крутящего момента на его валу осуществляется с использованием элементов «*Ideal Rotational Motion Sensor*» (рис. 2, поз. 4) и «*Ideal Torque Sensor*» 5 (рис. 2) соответственно. Для преобразования размерности величины частоты вращения используется блок усиления «*Gain*» 6 (рис. 2) с соответствующим коэффициентом.

Величина частоты вращения одновременно используется тремя элементами модели:

- после увеличения с коэффициентом передаточного числа ременной передачи 7 (рис. 2) в качестве входного сигнала мгновенной частоты вращения двигателя;
- в неизменном виде, как ограничитель роста частоты вращения 8 (рис. 2) на рубильном барабане (не более 1000 об/мин);
- в неизменном виде для построения логической цепочки, моделирующей наличие или отсутствие нагрузки на валу барабана.

Входной сигнал мгновенной частоты вращения двигателя анализируется следующей логической цепочкой. В случае, если частота вращения двигателя больше минимальной частоты холостого хода 760 об/мин, на вход двигателя она подается в неизменном виде. Если частота вращения ниже, то используется константная величина 760 об/мин. Это необходимо для моделирования первичного состояния двигателя.

Выходным сигналом двигателя, необходимым для моделирования, является величина крутящего момента, преобразованная с учетом передаточного числа ременной передачи. В случае, если частота вращения барабана не превышает 1000 об/мин, блок переключателя 8 (рис. 2) пропускает на вход источника крутящего момента 2 (рис. 2) величину крутящего момента, передаваемую от блока 9 (рис. 2). В ином случае на вход источника поступает значение 0.

Для построения логической цепочки, моделирующей наличие или отсутствие нагрузки на валу барабана, предварительно используется блок памяти «*Memory*» 10 (рис. 2). Он хранит

значение частоты вращения барабана, полученное на предыдущем шаге интегрирования. Если текущее значение частоты вращения барабана равно либо превышает 990 об/мин и при этом она больше либо равна предыдущему значению, а также если частота больше либо равна 500 об/мин и при этом ее текущее значение меньше либо равно предыдущему, то управляющий сигнал подается на блок действия «*If action*» 12, иначе на блок действия 13 (рис. 2). На блок 12 в качестве пропускаемого по условию сигнала поступает величина крутящего момента сопротивления, полученная по результатам ранее проведенных исследований [11–15]. На блок 13 подается нулевая величина крутящего момента, что соответствует отключению подачи транспортера в реальной машине.

В модели величина момента сопротивления рубильному барабану 14 (рис. 2) может быть задана в виде константы, функциональной зависимости либо случайной величины. Константная величина в большей степени соответствует процессу стволовой древесины больших диаметров. Использование случайной величины, изменяющейся относительно некоторого среднего значения, более характерно для измельчения пакетов ветвей, сучьев или тонкомерной древесины.

По результатам моделирования получены данные о режимах работы рубильного барабана. В качестве примера рассмотрим процесс измельчения сортамента (рис. 3.)

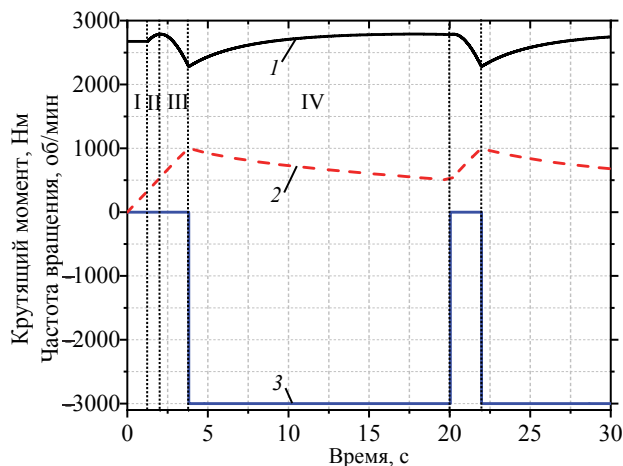


Рис. 3. Режим работы привода рубильного барабана: 1 — крутящий момент, подводимый к барабану; 2 — частота вращения барабана; 3 — момент сил резания

В режиме работы барабана под управлением системы «*No stress*» наблюдается четыре основных этапа.

На I этапе двигатель запущен и работает на частоте холостого хода. Величина крутящего момента, передаваемого на рубильный барабан, соответствует внешней скоростной характеристике.

Происходит разгон рубильного барабана. Разность скоростей вращения барабана и двигателя компенсируется работой муфты сцепления. При выравнивании частот вращения работа оборудования переходит ко второму этапу.

На этапе II происходит увеличение частоты вращения двигателя от величины холостого хода 760 об/мин до 1600 об/мин, что соответствует наибольшему крутящему моменту на скоростной характеристике.

На этапе III частота барабана достигает своих номинальных значений (990 об/мин). Ускоренное движение барабана заканчивается, что является сигналом для систем управления к включению подающего транспортера и подачи сырья.

На IV этапе происходит измельчение древесины, что характеризуется снижением частоты вращения рубильного барабана за счет действия на него момента силы резания. Снижение частоты вращения нелинейно и замедляется с течением времени. Это обусловлено синхронным снижением частоты вращения двигателя и, как следствие, ростом крутящего момента на его колленчатом валу.

В конце четвертого этапа частота вращения барабана падает ниже 500 об/мин, что является сигналом к срабатыванию системы «No stress», отключению подачи сырья подающим транспортером и разгону рубильного барабана. Далее процесс измельчения повторяется. Процесс непосредственного измельчения древесного сырья длится в течение 16,25 с.

С увеличением момента сопротивления, резанию частота включения системы «No stress» увеличивается, а продолжительность непрерывного измельчения снижается (табл. 2).

Так, при моменте сопротивления, равном 3500 Н·м, продолжительность непрерывного измельчения составляет 6 с, а при 4000 Н·м – 3,8 с.

Характерными являются интервалы моментов сопротивления резанию до 2290 Н·м и от 2290 до 2800 Н·м. Если момент сопротивления резанию не превышает 2290 Н·м, то рубильный барабан и двигатель работают при номинальных частотах вращения и снижения скорости измельчения нет.

В интервале моментов сопротивления резанию 2290–2810 Н·м сохраняется непрерывное рубление. При этом частота вращения барабана нелинейно падает и при моменте сопротивления 2800 Н·м достигает 500 об/мин. При большем увеличении момента сопротивления периодически срабатывает система управления.

Таблица 2

Продолжительность непрерывного процесса измельчения при различных моментах сопротивления резанию

Момент сопротивления резанию, Н·м	Продолжительность непрерывного измельчения, с
2810	82,0
2830	52,3
2850	40,0
2870	32,7
2890	28,0
2900	26,2
3000	16,25
3100	12,0
3200	9,6
3500	6,0
4000	3,8
4500	2,75

Заключение. Использование системы «No stress» в рассмотренной конструкции рубильной машины оправдано при измельчении древесного сырья, создающего моменты сопротивления вращению барабана до 3500 Н·м. В случае возникновения больших моментов сопротивления, время непрерывного измельчения падает до 6 с и менее. При этом время, затрачиваемое на повторный разгон рубильного барабана, составляет 1,9 с, т. е. в общем цикле работы время холостого выбега барабана, без учета затрат на доставку древесного материала манипулятором, составляет 28–30% от продолжительности цикла, что нельзя считать рациональным для обеспечения производительной работы машины.

Значительную роль в интенсификации рассматриваемой операции играет инерционность рубильного барабана. При ее увеличении в 2 раза продолжительность непрерывного измельчения увеличивается с 6 с до 12 с. Однако также в 2 раза возрастает время разгона рубильного барабана. Соотношение временных затрат не изменяется, но появляется возможность измельчения более крупного древесного сырья создающего большие моменты сопротивления.

Более точное заключение о приемлемости конкретных рабочих режимов можно дать на основании интегрального анализа времени выполнения рабочего цикла и его энергетических затрат, а также на основе экономической оценки [13–15] с использованием данных из рассмотренной имитационной модели.

Литература

1. Голякевич С. А., Пищов С. Н. Информационные технологии в лесном комплексе. Минск: БГТУ, 2018. 123 с.

2. Голякевич С. А., Гороновский А. Р. Аспекты топливной экономичности многооперационных лесных машин // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 27–28 апреля 2017 г. Могилев: ГУ ВПО «Белорус.-Рос. ун-т». С. 207–208.
3. Голякевич С. А. Энергетические аспекты функционирования многооперационных лесозаготовительных машин // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апреля 2017. Минск: БГТУ, 2017. С. 64–68.
4. Голякевич С. А. Применение систем адаптивного управления для повышения реализации энергетического потенциала харвестерами // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2017 г. № 2 (198). С. 238–244.
5. Голякевич С. А., Гороновский А. Р., Мохов С. П. Методика оценки технических характеристик форвардеров на стадии проектирования // Труды БГТУ. 2016. № 2 (184): Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 15–19.
6. Коробкин В. А., Веркович Н. А. Рубильные машины ПО «МТЗ» для производства топливной щепы // Строительные и дорожные машины. 2008. № 11. С. 16–19.
7. Лой В. Н., Германович А. О. Анализ транспортной составляющей технологического цикла мобильной рубильной машины // Труды БГТУ. 2014. № 2 (166): Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 24–27.
8. Германович А. О., Лой В. Н., Пищов С. Н. Анализ технологических процессов заготовки щепы мобильными рубильными машинами // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апреля 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 20–24.
9. Голякевич С. А. Имитационное моделирование технологического оборудования форвардера как мехатронной системы // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 2 (222). С. 174–180.
10. 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.
11. Германович А. О. Тарирование тензорезистивных датчиков для определения крутящего момента привода рубильной установки // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2, № 3–2 (8–2). С. 298–303.
12. Германович А. О. Сменная производительность мобильных рубильных машин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 4–1 (15–1). С. 283–286.
13. Ледницкий А. В. Экономическая оценка эффективности производства круглых лесоматериалов и топливной щепы при разработке ветровально-буреломных лесосек // Труды БГТУ. 2015. № 7 (180): Экономика и управление. С. 177–181.
14. Игнатенко В. В., Леонов Е. А. Математическое моделирование работы рубильной машины с учетом запаса сырья // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5, № 8–1 (34–1). С. 187–191.
15. Князев А. В., Бородин Н. А. Совершенствование конструкции рубильной машины с использованием пильных дисков в качестве режущего рабочего органа для измельчения отходов лесопиления // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. Т. 6, № 4 (40). С. 170–172.

References

1. Golyakevich, S. A., Pishchov S. N. *Informatsionnyye tekhnologii v lesnom komplekse* [Information technologies in the forest complex]. Minsk, BGTU Publ., 2018, 123 p.
2. Golyakevich S. A., Goronovskiy A. R. Fuel economy aspects of multioperational forest machines. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Materialy, oborudovaniye i resurso-sberegayushshiy tekhnologii"* [Materials of the International scientific and technical conference "Materials, equipment and resource-saving technologies"]. Mogilev, 2017, pp. 207–208 (In Russian).
3. Golyakevich S. A. Energy aspects of multioperational forest machines functioning. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya"* [Materials of International scientific and technical conference "Logging production: problems and solutions"]. Minsk, 2017, pp. 64–68 (In Russian).
4. Golyakevich S. A. Application of adaptive control systems to increase the realization of energy potential of harvesters. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2 (198): Forestry, Nature Management and Renewable Resources Processing, pp. 238–244 (In Russian).
5. Golyakevich S. A., Goronovskiy A. R., Mokhov S. P. Methodology for assessing technical characteristics of forwarders at the design stage. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2 (184): Forest and Woodworking Industry, pp. 15–19 (In Russian).

6. Korobkin V. A., Verkovich N. A Chipper machines by MTZ for wood chips production. *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny* [Construction and road cars], 2008, no. 11, pp. 16–19 (In Russian).
7. Loy V. N., Germanovich A. O. Analysis of the transport component of the technological cycle of the mobile chipper machine. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no 2 (166): Forest and Woodworking Industry, pp. 24–27 (In Russian).
8. Germanovich A. O., Loy V. N., Pishchov S. N. Analysis of technological processes of wood chips harvesting by mobile chipper machines. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problem i resheniya"* [Materials of International scientific and technical conference "Logging production: problems and solutions"]. Minsk, 2017, pp. 20–24 (In Russian).
9. Golyakevich S. A. Simulation modeling of technological equipment of a forwarder as mechatronic system. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2 (198): Forestry, Nature Management and Renewable Resources Processing, pp. 174–180 (In Russian).
10. Golyakevich S. A., Goronovskiy A. R., Mokhov S. P. Results of simulation modeling of the hydraulic system of forwarder in MatLab / Simulink / Simscape. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2 (198): Forestry, Nature Management and Renewable Resources Processing, pp. 126–131 (In Russian).
11. Germanovich A. O. Calibration of strain gauge sensors to determine the torque of the chipper drive. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2014, vol. 2, no. 3–2 (8–2), pp. 298–303 (In Russian).
12. Germanovich A. O. Shift performance of mobile chipper machines. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2015, vol. 3, no. 4–1 (15–1), pp. 283–286 (In Russian).
13. Lednitskiy A. V. Economic evaluation of the production efficiency of round timber and wood chips when working on windbreak areas. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 7 (180): Economics and management, pp. 177–181 (In Russian).
14. Ignatenko V. V., Leonov Ye. A. Mathematical modeling of the chipper machine operation with taking into account the stock of raw materials. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2017, vol. 5, no. 8–1 (34–1), pp. 187–191 (In Russian).
15. Knyazev A. V., Borodin N. A. Chipper machine designs improvement using saw blades as cutting tool for milling sawmill waste. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2018, vol. 6, no. 4 (40), pp. 170–172 (In Russian).

Информация об авторе

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

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 27.09.2019