

УДК 630*364:629.3.02

Д. А. Кононович

Белорусский государственный технологический университет

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СБОРА ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ**

В статье представлены результаты по обоснованию конструкции технологического оборудования для сбора лесосечных отходов. В процессе проведения исследования рассматривались различные природно-производственные условия, базовые шасси, место установки технологического оборудования, выбор передач для выполнения операций технологического цикла. В зависимости от передаточного отношения трансмиссии базовых шасси определена энергетическая эффективность процесса сбора лесосечных отходов в зависимости от передачи, типа грунтов, места установки оборудования, работы с понижающим редуктором или без него. Выполнена сравнительная оценка энергетических эффективностей эксплуатации различных базовых шасси и установлено наиболее рациональное количество зубьев в технологическом оборудовании для реализации энергетического потенциала. На основе реализации энергетического потенциала выполнен анализ условий движения при волочении пачки определенного объема и применения скоростей передач при выполнении технологических операций по сбору лесосечных отходов. Определены основные критерии, влияющие на эффективность эксплуатации базового шасси и количество зубьев в технологическом оборудовании в зависимости от различных природно-производственных факторов, варианта установки оборудования, объема пачки, передаточного отношения трансмиссии, скорости движения, типа грунта.

Ключевые слова: эффективность, конструкция, обоснование, базовое шасси, лесосечные отходы.

Для цитирования: Кононович Д. А. Энергетическое обоснование конструкции технологического оборудования для сбора лесосечных отходов // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (252). С. 113–121.

D. A. Kononovich

Belarusian State Technological University

**ENERGY OF JUSTIFICATION OF THE DESIGN
TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR COLLECTION OF WOOD LOGGING WASTE**

The article presents the results of substantiating the design of technological equipment for the collection of logging waste. In the course of the study, various natural-production conditions, base chassis, the place of installation of technological equipment, the choice of gears for performing operations of the technological cycle were considered. Depending on the gear ratio of the transmission of the base chassis, the energy efficiency of the process of collecting felling waste was determined depending on the gear, the type of soil, the place of equipment installation, work with or without a reduced gear. A comparative assessment of the energy efficiency of the operation of various base chassis has been carried out and the most rational number of teeth in the technological equipment for the implementation of the energy potential has been established. On the basis of the realization of the energy potential, the analysis of the conditions of movement when dragging a pack of a certain volume and the use of gear speeds when performing technological operations for the collection of logging waste is carried out. The main criteria affecting the operating efficiency of the base chassis and the number of teeth in the technological equipment are determined, depending on various natural and production factors, equipment installation option, pack volume, transmission gear ratio, travel speed, soil type.

Key words: efficiency, design, justification, base chassis, logging waste.

For citation: Kononovich D. A. Energy of justification of the design technological equipment for collection of wood logging waste. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (252), pp. 113–121 (In Russian).

Введение. Повышения эффективности эксплуатации машины для сбора лесосечных отходов можно добиться увеличением ширины технологического оборудования. Однако такое конструктивное изменение влечет за собой увеличение

сил сопротивления волочению пачки, возникающих в процессе сбора. Такие силы сопротивления снижают тяговые свойства базового шасси и могут приводить к потере проходимости [1–3]. В связи с этим существует необходимость

обоснования ширины технологического оборудования с целью определения наиболее эффективной эксплуатации машины для сбора лесосечных отходов. Обоснование конструкции технологического оборудования следует выполнять как сравнение энергетических потенциалов производительностей, определяющееся как отношение КПД ко времени цикла.

Основная часть. Повышение эффективности загрузки технологического оборудования путем изменения конструкции можно добиться двумя способами. Первый связан с поворотом оборудования на 90° после выполнения операции сбора, что позволит исключить обратный холостой ход. Второй способ – увеличение ширины технологического оборудования. Ширина технологического оборудования зависит от количества рабочих зубьев [4–6]. В процессе исследования минимальное количество рабочих зубьев в оборудовании – 2 шт., а ширина между ними – 0,6 м.

Теоретическими исследованиями установлены наиболее эффективные передачи для сбора лесосечных отходов, но применение этих передач ограничено по причине различных природно-производственных условий на лесосеке. В связи с этим следует выбирать передачи для движения меньшие (рис. 1).

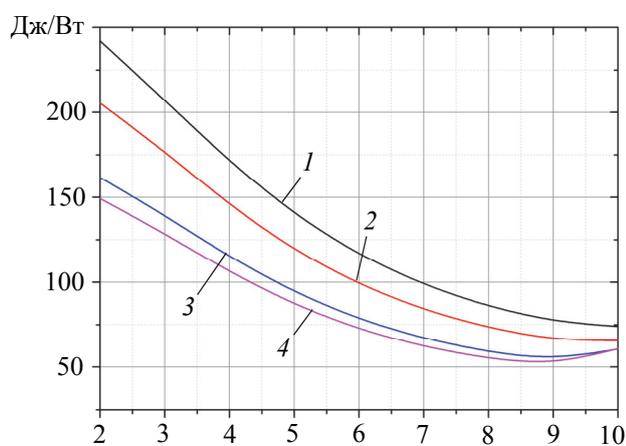


Рис. 1. Выбор ширины технологического оборудования в зависимости от места установки при движении базового трактора Л82.2 по грунтам I типа и первой передаче:

- 1 – технологическое оборудование на переднем бруске Л82.2 с редуктором;
- 2 – технологическое оборудование на переднем бруске Л82.2 без редуктора;
- 3 – технологическое оборудование на задней гидравлической навеске Л82.2 с редуктором;
- 4 – технологическое оборудование на задней гидравлической навеске Л82.2 без редуктора

Установлено, что увеличение ширины технологического оборудования без потери тяговых свойств на грунте I типа при установке технологического оборудования на задней гидравлической

навеске базового трактора Л82.2 во время движения на первой передаче заднего хода возможно до 9 зубьев. В данном случае энергетическая эффективность эксплуатации оборудования достигает 51,44 Дж/Вт и практически не зависит от работы с понижающим редуктором или без него. Это связано с незначительным изменением коэффициентов трансмиссии при включении передачи заднего хода. Установка технологического оборудования на переднем бруске трактора позволяет увеличить ширину до десяти зубьев, но эффективность в таком случае ниже вследствие неиспользования такого количества зубьев при обратном движении челночного хода. При работе на второй передаче эффективность эксплуатации изменяется незначительно, но наблюдается тенденция к применению понижающего редуктора (рис. 2).

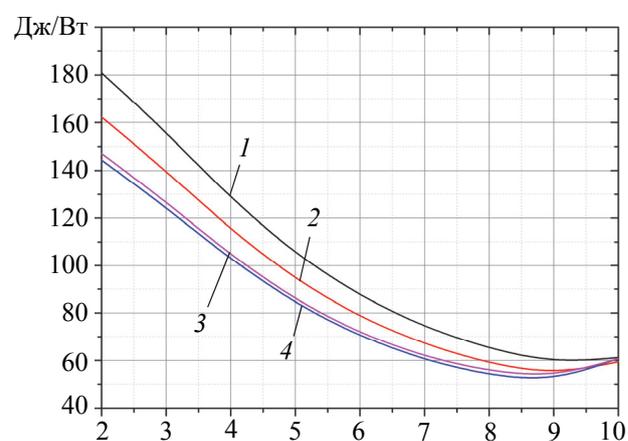


Рис. 2. Выбор ширины технологического оборудования в зависимости от места установки при движении базового трактора Л82.2 по грунтам I типа на второй передаче:

- 1 – технологическое оборудование на переднем бруске Л82.2 с редуктором;
- 2 – технологическое оборудование на переднем бруске Л82.2 без редуктора;
- 3 – технологическое оборудование на задней гидравлической навеске Л82.2 с редуктором;
- 4 – технологическое оборудование на задней гидравлической навеске Л82.2 без редуктора

При сборе лесосечных отходов на второй передаче и установке технологического оборудования на задней гидравлической навеске эффективность эксплуатации оборудования достигает 51,29 Дж/Вт с применением понижающего редуктора. Еще одной особенностью работы на второй передаче является максимально возможная ширина технологического оборудования (девять зубьев) при установке на переднем бруске трактора. Снижение количества зубьев связано с падением тяговых свойств базового трактора при включении лесосечных отходов. С увеличением передач снижается запас эффективности между

установкой технологического оборудования на переднем бруске трактора и задней гидравлической навеской. При работе на третьей передаче установка технологического оборудования возможна только на переднем бруске трактора в связи с тем, что в базовом тракторе Л82.2 имеется только две передачи заднего хода.

При работе на третьей передаче установлено, что эффективность эксплуатации технологического оборудования с базовым трактором будет выше без применения понижающего редуктора. Это связано с большими скоростями движения на сборе лесосечных отходов с шириной технологического оборудования до восьми зубьев. Наибольшая эффективность эксплуатации достигается на третьей передаче при установке девяти зубьев, но в данном случае работа с понижающим редуктором более целесообразна, чем без редуктора, несмотря на то, что эффективности первого и второго случая равны. Это связано с тем, что скорости выполнения работы с понижающим редуктором или без редуктора будут практически одинаковы по причине снижения тяговых свойств. В данном случае работа без редуктора на третьей передаче с шириной технологического оборудования в девять зубьев будет вызывать буксование сцепления [7–11].

Исследованиями установлено, что эффективность эксплуатации базового трактора Л82.2 на сборе лесосечных отходов с установкой технологического оборудования на переднем бруске трактора достигается на четвертой передаче при волочении 5 м^3 .

При работе на четвертой передаче эффективность эксплуатации базового трактора Л82.2 с технологическим оборудованием не имеет принципиальной разницы по сравнению с работой на третьей передаче. Как на третьей, так и на четвертой передаче затрачивается 47 Дж/Вт для выполнения операции сбора. Наибольшая эффективность достигается в данном случае при ширине технологического оборудования в 9 зубьев и работе с понижающим редуктором.

В случае осуществления сбора лесосечных отходов на почвах II типа эффективность падает в несколько раз по сравнению с эксплуатацией на почвах I типа. Это связано с низкой несущей способностью грунтов и большим сопротивлением движению. Эффективность эксплуатации оборудования представлена на рис. 3.

При работе на грунтах II типа ширина технологического оборудования по сравнению с грунтами I типа значительно снижается. Так, наибольшая эффективность эксплуатации базового трактора Л82.2 с установленным оборудованием достигается при ширине оборудования в 5 зубьев. Такая эффективность эксплуатации может быть получена различными вариантами работы машины

для сбора лесосечных отходов при работе на второй передаче без понижающего редуктора либо при работе на третьей передаче с понижающим редуктором или без него. Эффективности эксплуатации в данных случаях будут практически идентичны. Это связано со скоростями движения и временем выполнения технологических операций. При установке технологического оборудования шириной в шесть зубьев и использовании третьей передачи эффективность эксплуатации падает на 8,5%. Это связано с увеличивающимся сопротивлением, возникающим при наборе пачки лесосечных отходов и падающими тяговыми и сцепными свойствами базового трактора. При использовании первой и второй передачи эффективность достигается выше при работе без понижающего редуктора. Это позволяет развить большие рабочие скорости движения и меньше затратить времени на операции сбора лесосечных отходов и формирования вала, однако общая эффективность эксплуатации технологического оборудования при этом ниже [12–13]. Эффективность эксплуатации оборудования при движении базового шасси Л82.2 с понижающим редуктором представлена на рис. 4.

Установлено, что при применении технологического оборудования на задней гидравлической навеске и работе на грунтах II типа наибольшая эффективность эксплуатации достигает 151,63 Дж/Вт при движении на первой передаче без понижающего редуктора. Применение понижающего редуктора на первой передаче снижает эффективность всего на 3,3% за счет чуть большего затрачивания времени на сбор, но позволяет повысить тяговые свойства. При применении второй передачи с понижающим редуктором эффективность падает на 0,84%, а без понижающего редуктора – на 1,1%.

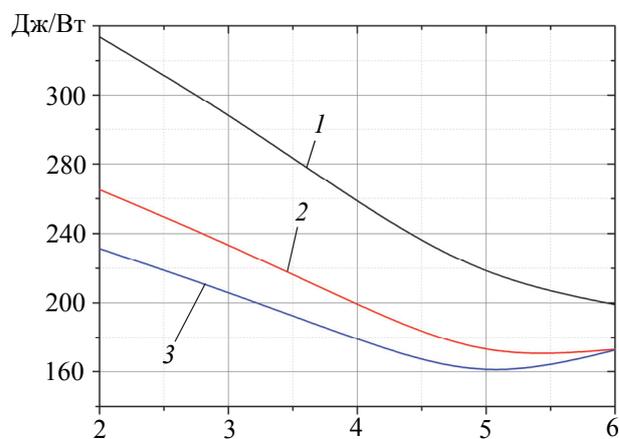


Рис. 3. Выбор ширины технологического оборудования, установленного на переднем бруске трактора Л82.2 с понижающим редуктором, при движении по грунтам II типа на передачах: 1 – первой; 2 – второй; 3 – третьей

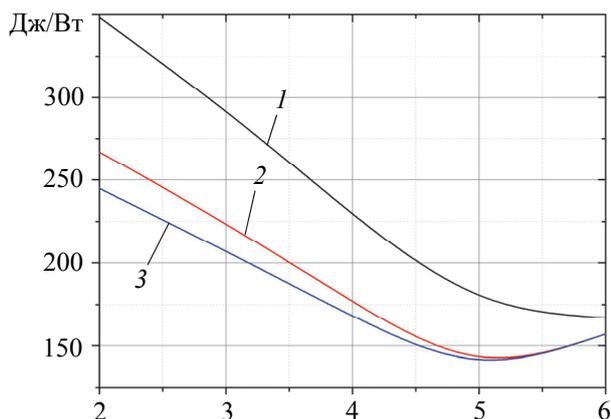


Рис. 4. Выбор ширины технологического оборудования, установленного на переднем бруске трактора Л82.2 с понижающим редуктором, при движении по грунтам II типа на передачах: 1 – первой; 2 – второй; 3 – третьей

Установка технологического оборудования на переднем бруске трактора Л1221 приводит к возможности применения ширины оборудования в 11 зубьев при использовании на первой-третьей передачах (рис. 5).

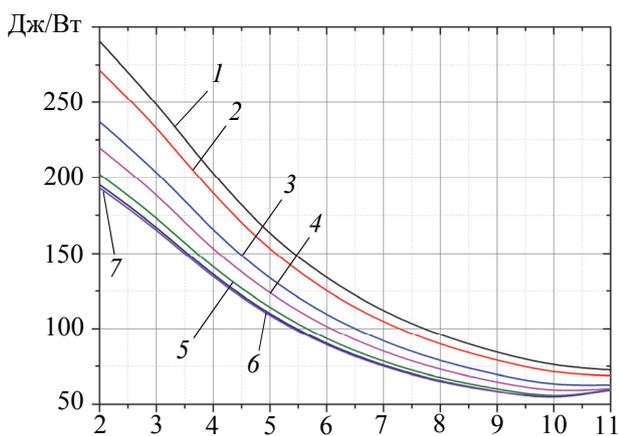


Рис. 5. Выбор ширины технологического оборудования при установке его на переднем бруске трактора и движении базового трактора Л1221 по грунтам I типа на 1–7 передачах: 1 – первой; 2 – второй; 3 – третьей; 4 – четвертой; 5 – пятой; 6 – шестой; 7 – седьмой

При рассмотрении базовых тракторов Л1221 и Л82.2 установлено, что при установке оборудования на переднем бруске тракторов эффективность эксплуатации выше на 4,4% у Л1221 за счет использования его максимально возможной ширины (одиннадцать зубьев) по сравнению с максимально возможной шириной в десять зубьев у Л82.2. Это связано с высокими тяговыми и сцепными свойствами базового трактора Л1221. При переходе с четвертой по седьмую передачу наибольшая эффективность эксплуатации достигается при

ширине оборудования в десять зубьев. Это связано с недостаточностью тяговых свойств на данных передачах.

Применение в качестве базового трактора Л1221 на грунтах II типа позволяет использовать ширину технологического оборудования, установленного на переднем бруске, до шести зубьев. Наиболее эффективно это осуществлять на пятой передаче второго диапазона. Однако процесс сбора будет осуществляться с небольшим буксованием сцепления. В данном случае можно применить четвертую передачу первого диапазона, так как эффективности эксплуатации будут малоотличимы, но появится возможность увеличить крутящий момент. Установлено, что в случае применения Л1221 на почвах II типа эффективность эксплуатации оборудования является выше на 11,02% по сравнению с применением Л82.2 при условии работы второго с понижающим редуктором. Без понижающего редуктора эффективность применения Л82.2 будет выше на 3,14%. Это связано с затрачиваемым временем на выполнение операции сбора, скоростями движения, тяговыми и сцепными свойствами.

При установке технологического оборудования на задней гидравлической навеске Л1221 и работе на грунтах I типа ширина технологического оборудования может достигать десяти зубьев. Установлено, что эффективность эксплуатации оборудования на грунтах I типа при использовании базового трактора Л1221 ниже на 25,88%, чем при использовании Л82.2 с понижающим редуктором, и на 29,73% без понижающего редуктора. Стоит отметить, что при использовании базового трактора Л82.2 наибольшая ширина технологического оборудования составляет девять зубьев. Это связано с большей массой базового трактора и чуть большей затратой времени на выполнение операции сбора. Достижение такой эффективности эксплуатации оборудования Л1221 возможно на третьей передаче заднего хода, а Л82.2 – на первой или второй передачах.

На грунтах II типа максимально возможная ширина технологического оборудования составляет шесть зубьев. Наибольшей эффективности эксплуатации оборудования с базовым трактором Л1221 можно достичь на второй передаче. При сравнении эффективностей эксплуатации оборудования с базовыми тракторами Л82.2 и Л1221 установлено, что эффективность эксплуатации оборудования Л1221 с шириной в шесть зубьев ниже на 14,3%, чем Л82.2 с шириной в пять зубьев и работе без понижающего редуктора, и выше на 3,72%, чем при работе с понижающим редуктором. Это связано со скоростями рабочего и холостого ходов и временем выполнения технологических операций.

При работе на грунтах I типа с базовым шасси МТЗ-320 ширина оборудования, установленного

на переднем бруске трактора, может достигать шести зубьев на первой передаче без понижающего редуктора. Наибольшая эффективность достигается в таком случае при работе на четвертой передаче с шириной оборудования в пять зубьев. Применение понижающего редуктора позволяет увеличить ширину технологического оборудования до шести зубьев при работе на седьмой передаче [14–17]. При сравнении наиболее эффективных эксплуатаций базовых шасси установлено, что при применении базового шасси МТЗ-320 без понижающего редуктора и шириной оборудования в пять зубьев эффективность эксплуатации будет ниже на 8,76% в отличие от Л82.2, у которого ширина в таком случае достигает девяти зубьев при условии, что время выполнения технологических операций у них будет одинаково (рис. 6 и рис. 7).

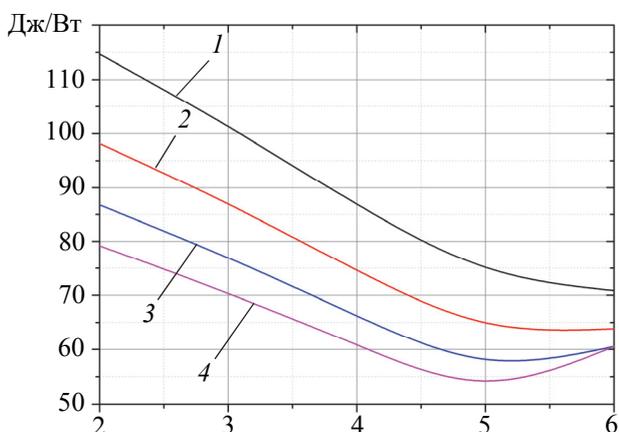


Рис. 6. Выбор ширины технологического оборудования, установленного на переднем бруске трактора МТЗ-320 без понижающего редуктора, при движении по грунтам I типа на передачах: 1 – первой; 2 – второй; 3 – третьей; 4 – четвертой

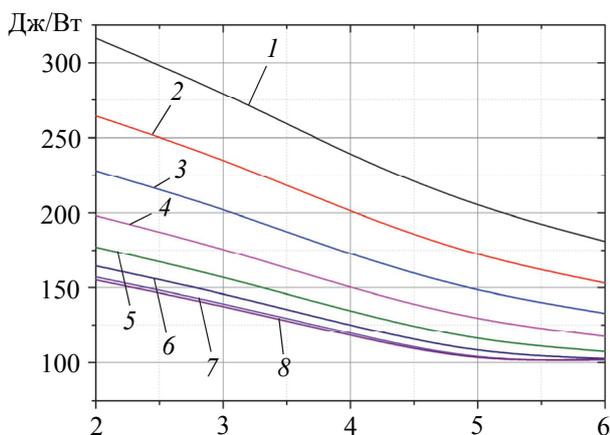


Рис. 7. Выбор ширины технологического оборудования, установленного на переднем бруске трактора МТЗ-320 с понижающим редуктором, при движении по грунтам I типа на передачах: 1 – первой; 2 – второй; 3 – третьей; 4 – четвертой; 5 – пятой; 6 – шестой; 7 – седьмой; 8 – восьмой

Это связано с большими тяговыми и сцепными свойствами базового шасси Л82.2, позволяющими перемещать больший объем лесосечных отходов. В случае применения данных базовых шасси с понижающим редуктором эффективность загрузки оборудования, эксплуатирующегося с МТЗ-320, будет ниже на 116,25%, нежели с Л82.2. Это связано с затратами большого времени на выполнение холостого хода за счет огромного передаточного отношения у понижающего редуктора МТЗ-320.

При сравнении с Л1221 установлено, что эффективность загрузки оборудования с базовым шасси МТЗ-320, работающего без понижающего редуктора на грунтах I типа будет выше на 1,34%. В таком случае ширина технологического оборудования с базовым шасси Л1221 будет достигать десяти зубьев. Это связано с тем, что время цикла на выполнение технологических операций будет одинаково, но площадь лесосеки, очищаемой от сучьев, и их объем за один проход у Л1221 будут выше за счет реализации тяговых и сцепных свойств, чем у базового шасси МТЗ-320. При включении понижающего редуктора у МТЗ-320 эффективность загрузки резко снижается на 85,12%. Это связано с большой затратой времени на выполнение операций сбора [18–19].

Эффективность эксплуатации оборудования при установке на переднем бруске базового трактора МТЗ-320 на грунтах I типа представлены рис. 8 и рис. 9.

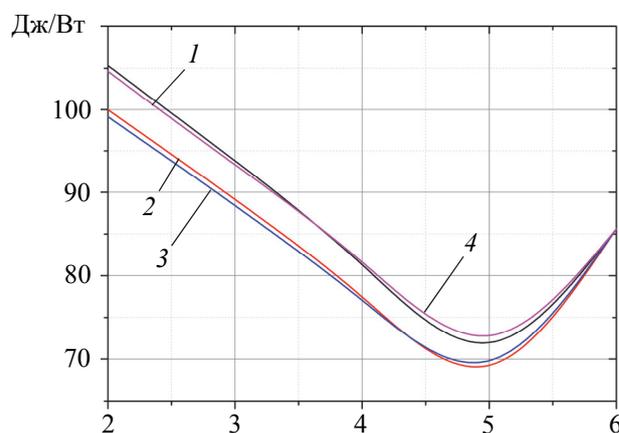


Рис. 8. Выбор ширины технологического оборудования, установленного на задней гидравлической навеске трактора МТЗ-320 без понижающего редуктора, при движении по грунтам I типа на передачах: 1 – первой; 2 – второй; 3 – третьей; 4 – четвертой

Установлено, что эффективность загрузки оборудования при установке на задней гидравлической навеске базового шасси МТЗ-320 и движении на грунтах I типа достигается при ширине технологического оборудования в пять зубьев и

работе на второй или третьей передаче без понижающего редуктора. Работа с понижающим редуктором позволяет увеличить ширину технологического оборудования до шести зубьев на третьей-четвертой передачах. Эффективность загрузки технологического оборудования, установленного на задней гидравлической навеске МТЗ-320 без понижающего редуктора, ниже на 30,70% по сравнению с базовым шасси Л82.2 при таких же условиях.

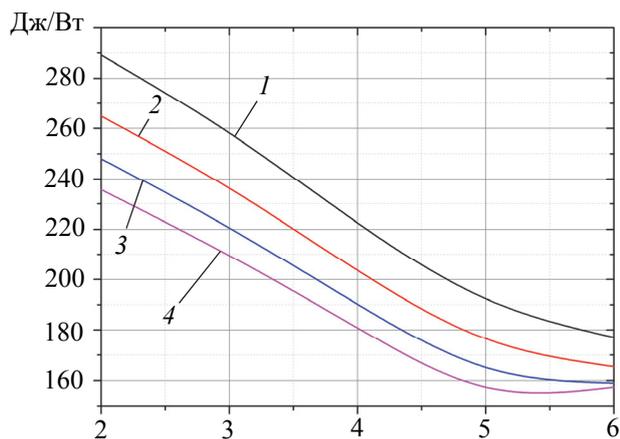


Рис. 9. Выбор ширины технологического оборудования, установленного на задней гидравлической навеске трактора МТЗ-320 с понижающим редуктором, при движении по грунтам I типа на передачах:
1 – первой; 2 – второй;
3 – третьей; 4 – четвертой

Это связано с большими затратами времени на холостой ход и меньшими объемами волочения лесосечных отходов. При работе с понижающим редуктором эффективность загрузки оборудования с базовым шасси МТЗ-320 падает на 206,77% по сравнению с Л82.2. Это связано с огромными затратами времени на выполнение технологических операций.

При сравнении с базовым шасси Л1221 эффективность загрузки оборудования с базовым шасси МТЗ-320 будет выше на 5,39%. Это связано с тем, что временные затраты на выполнение операции будут ниже у базового шасси МТЗ-320, однако большую площадь и объем за 1 проход выполнит Л1221 с шириной в десять зубьев, чем МТЗ-320 с пятью зубьями. Применение понижающего редуктора у МТЗ-320 снижает эффективность загрузки на 114,97% по сравнению с Л1221. Это опять же связано с большими затратами времени на выполнение операций технологического цикла.

Заключение. При проведении исследований по загрузке оборудования в зависимости от ширины технологического оборудования установлено, что наибольшая эффективность достигается

при эксплуатации базового шасси Л82.2 на грунтах I типа и установке оборудования с количеством в 9 шт. рабочих зубьев на переднем бруске трактора при работе на третьей передаче. В таком случае работа с понижающим редуктором или без него не имеет существенных отличий в энергетических потенциалах производительностей. Целесообразно устанавливать оборудование на переднем бруске трактора ввиду простоты управления оператором и лучших показателей распределения опорных реакций. В случае невозможности реализации третьей передачи в процессе сбора лесосечных отходов ввиду большого количества препятствий (много пней, ям, камней, рвов) целесообразно по энергетическому потенциалу производительностей устанавливать технологическое оборудование на задней гидравлической навеске и применять вторую передачу заднего хода с понижающим редуктором либо первую передачу заднего хода без понижающего редуктора. В обоих случаях количество рабочих зубьев будет достигать 9 шт. Устанавливая технологическое оборудование на переднем бруске трактора Л82.2 и применяя первую передачу, можно увеличить количество рабочих зубьев до 10 шт., но эффективность в таком случае падает на 21–26% в зависимости от применимости понижающего редуктора. Это связано с увеличением времени цикла, а именно рабочего и холостого ходов. В случае эксплуатации базового шасси Л82.2 на грунтах II типа эффективность эксплуатации падает до 70% при работе на третьей передаче и установке технологического оборудования с максимально возможным количеством рабочих зубьев 5 шт. на переднем бруске трактора с понижающим редуктором. В случае применения первой-второй передачи наиболее эффективно устанавливать технологическое оборудование на задней гидравлической навеске. На второй передаче использование понижающего редуктора приводит к незначительному увеличению эффективности. Применяя базовое шасси Л82.2 на грунтах II типа наиболее рационально по энергетическому потенциалу производительностей использовать технологическое оборудование с пятью рабочими зубьями на задней гидравлической навеске и работать без понижающего редуктора. В случае применения понижающего редуктора эффективность падает на 3,33%, так как происходит увеличение времени на выполнение операций.

В случае применения базового шасси Л1221 на грунтах I типа энергетическая эффективность по загрузке оборудования достигается при работе на шестой передаче при установке технологического оборудования на переднем бруске трактора. В этом случае количество рабочих зубьев в оборудовании для сбора лесосечных отходов

достигнет десяти. Однако эффективность загрузки оборудования с базовым шасси Л1221 ниже на 14,3% по сравнению с наибольшей эффективностью загрузки оборудования с базовым шасси Л82.2. В случае невозможности реализации шестой передачи ввиду большого количества препятствий для снижения скорости движения базового шасси целесообразно применять первую-пятую передачи. Так, без существенной потери эффективности между передачами можно использовать технологическое оборудование на переднем бруске трактора с одиннадцатью рабочими зубьями на первой передаче, на второй и третьей передачах – с оборудованием на задней гидравлической навеске и десятью рабочими зубьями. Однако эффективность загрузки будет снижена до 25%, по сравнению с использованием шестой передачи, ввиду увеличения времени на технологический цикл. При установке технологического оборудования на задней гидравлической навеске наибольшая эффективность загрузки реализуется на третьей или четвертой передачах заднего хода при десяти рабочих зубьях, так как их эффективность будут отличаться всего на 0,24%. В данном случае эффективность будет выше на 1,16% при использовании на второй передаче и на 4,34% при использовании на первой передаче.

При применении на грунтах II типа базового шасси Л1221 максимальная реализация эффективности загрузки оборудования будет осуществляться на второй передаче с шестью рабочими зубьями. По сравнению с первой передачей эффективность будет выше на 1,64%, третьей – 0,72%, четвертой – 1,17%. На любых из этих передач тяговые свойства базового шасси позволяют использовать до шести рабочих зубьев в оборудовании. Ввиду низкой несущей способности грунтов эффективность загрузки оборудования снижается до 70% при работе с базовым шасси Л1221 и Л82.2, но применение базового шасси Л82.2 эффективнее на 15,88% вследствие меньшей массы и использования понижающего редуктора, что позволяет повысить тяговые свойства машины.

При применении на сборе лесосечных отходов в качестве базового шасси МТЗ-320 установлено, что на грунтах I типа наибольшая эффективность достигается на четвертой передаче

при установке технологического оборудования на переднем бруске трактора и работе без понижающего редуктора. В таком случае количество рабочих зубьев в оборудовании достигает пяти. Однако такое достижение эффективности реализуется при рабочей скорости базового шасси на операции сбора 4,1 км/ч, что может привести к значительным динамическим нагрузкам. Поэтому целесообразно применять первую и вторую передачи, так как при них реализуются допустимые рабочие скорости с шестью рабочими зубьями. Однако эффективность на этих передачах будет ниже на 17,7–30,6%, чем на четвертой. Это связано с увеличением времени, затрачиваемым на операции технологического цикла. При сравнении наилучших эффективностей базовых шасси МТЗ-320 с Л82.2 и Л1221 установлено, что при применении Л82.2 эффективность выше на 12,72%, а Л1221 ниже на 1,34%. Снижение эффективности Л1221 по сравнению с МТЗ-320 связано с тем, что эффективность загрузки первого лежит в более высоких нагрузочных диапазонах (реализуется весь энергетический потенциал при волочении пачки 5 м³), а нагрузочный диапазон МТЗ-320 останавливается при волочении 2 м³. Стоит отметить, что движение без понижающего редуктора возможно только на четвертой передаче, применение передач выше невозможно ввиду низких тяговых свойств. Применение понижающего редуктора позволяет увеличить количество рабочих зубьев до шести, однако снижает эффективность на 46,7% ввиду затраты большего количества времени на выполнение операций технологического цикла.

Установка технологического оборудования на задней гидравлической навеске базового шасси МТЗ-320 приводит к достижению наилучшей эффективности на второй передаче заднего хода без применения понижающего редуктора. В таких условиях количество рабочих зубьев достигает пяти. Установка технологического оборудования на задней гидравлической навеске снижает эффективность на 7,84% при условии, что количество рабочих зубьев на переднем бруске достигает шести. Эксплуатация базового шасси МТЗ-320 с технологическим оборудованием на грунтах II типа невозможно в связи с низкими тяговыми и сцепными свойствами.

Список литературы

1. Жуков А. В. Теория лесных машин. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.
2. Головков С. И., Коперин И. Ф., Найденов В. И. Энергетическое использование древесных отходов. М.: Лесная пром-сть, 1987. 224 с.
3. Федоренчик А. С., Ледницкий А. В. Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов. Минск: БГТУ, 2010. 446 с.
4. Анализ конструктивных особенностей машин для сбора лесосечных отходов / Д. А. Кононович [и др.] // Труды БГТУ. 2016. Сер. 2, Лесная и деревообработ. пром-сть. № 2. С. 31–35.

5. Семенов Ю. П. Лесная биоэнергетика. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. 350 с.
6. Перспективный комплекс машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов / С. П. Мохов [и др.] // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 26–28 апр. 2017 г. Минск, 2017. С. 178–181.
7. Арико С. Е. Обоснование параметров валочно-сучкорезно-раскряжевой машины для рубок промежуточного пользования: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2012. 225 с.
8. Арико С. Е. Математическая модель работы харвестерной машины 4К4 // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. 2010. Вып. XVIII. С. 113–117.
9. Симанович В. А. Оценка динамического нагружения колесных лесных машин на эксплуатационных режимах работы // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. 2010. Вып. XVIII. С. 122–125.
10. Голякевич С. А. Применение систем адаптивного управления для повышения реализации энергетического потенциала харвестерами // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2017. № 2. С. 238–244.
11. Оценка тягово-сцепных свойств погрузочно-транспортной машины в реальных условиях эксплуатации / В. А. Коробкин [и др.] // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 36–39.
12. Симанович В. А., Пищов М. Н., Смяян А. И. Особенности эксплуатационных режимов нагружения лесных агрегатных машин // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. 2007. Вып. XV. С. 77–78.
13. Симанович В. А., Исаченков В. С., Бобрович В. А. Оценка динамической нагруженности трелевочной системы «колесный трактор – пачка деревьев» // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. 2007. Вып. XV. С. 74–76.
14. Матвейко А. П., Федоренчик А. С. Технология и машины лесосечных работ: учеб. для вузов. Минск: Технопринт, 2002. 479 с.
15. Коробов В. В., Рушнов Н. П. Переработка низкокачественного древесного сырья. М.: Экология, 1991. 288 с.
16. Исаченков В. С., Симанович В. А. Обоснование параметров прицепного технологического оборудования колесных трелевочных машин // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 23–27.
17. Лой В. Н., Германович А. О. Моделирование работы самоходной рубильной машины с автономным двигателем // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 18–21.
18. Мохов С. П., Симанович В. А., Арико С. Е. Оценка влияния внешних силовых факторов на процесс падения дерева // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 28–31.
19. Кочегаров В. Г., Бит Ю. А., Меньшиков В. Н. Технология и машины лесосечных работ. М.: Лесная пром-сть, 1990. 392 с.

References

1. Zhukov A. V. *Teoriya lesnykh mashin* [The theory of forest machines]. Minsk, BGTU Publ., 2001. 640 p.
2. Golovkov S. I., Koperin I. F., Naydenov V. I. *Energeticheskoye ispol'zovaniye drevesnykh otkhodov* [Energy use of wood waste]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1987, 224 p. (In Russian).
3. Fedorenchik A. S., Lednitskiy A. V. *Energeticheskoye ispol'zovaniye nizkokachestvennoy drevesiny i drevesnykh otkhodov* [Energy use of low-quality wood and wood waste]. Minsk, BGTU Publ., 2010. 446 p. (In Russian).
4. Kononovich D. A., Mokhov S. P., Simanovich V. A., Ariko S. Ye. Analysis of structural features of machines for collection forest residues. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 31–35 (In Russian).
5. Semenov Yu. P. *Lesnaya bioenergetika* [Forest bioenergetics]. Moscow, MGUL Publ., 2008. 350 p. (In Russian).
6. Mokhov S. P., Korobkin V. A., Golyakevich S. A., Kononovich D. A. Perspective complex machines for collection and transportation logging waste. *Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Logging industry: problems and solutions: materials of the International Scientific and Technical Conference]. Minsk, 2017, pp. 178–181 (In Russian).
7. Ariko S. Ye. *Obosnovaniye parametrov valочно-suchkorезно-raskryazhevochnoy mashiny dlya rubok promezhutochnogo pol'zovaniya. Dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk* [Substantiation of felling-de-limbing-bucking machine characteristics for intermediate forest exploitation cutting. Dissertation PhD (Engineering)]. Minsk, 2012. 225 sh. (In Russian).
8. Ariko S. Ye. The mathematical model of the harvester 4W4. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2010, issue XVIII, pp. 113–117 (In Russian).
9. Simanovich V. A. Evaluation of the dynamic loading of wheeled forest machines at operational operating modes. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2010, issue XVIII, pp. 122–125 (In Russian).

10. Golyakevich S. A. Application of adaptive control systems to increase the realization of energy potential of harvesters. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2, Forestry, Nature Management and Renewable Resources Processing, pp. 238–244 (In Russian).
11. Korobkin V. A., Mokhov S. P., Ariko S. Ye., Golyakevich S. A. Assessing the traction characteristics of loading and transport machines in real conditions of exploitation. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 36–39 (In Russian).
12. Simanovich V. A., Pishchov M. N., Smeyan A. I. Features of operational modes of loading of forest modular machines. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2007, issue XV, pp. 77–78 (In Russian).
13. Simanovich V. A., Isachenkov V. S., Bobrovich V. A. Evaluation of the dynamic loading of the skidding system “wheeled tractor – a pack of trees”. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2007, issue XV, pp. 74–76 (In Russian).
14. Matveyko A. P., Fedorenchik A. S. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and machines logging activities]. Minsk, Tekhnoprint Publ., 2002. 479 p. (In Russian).
15. Korobov V. V., Rushnov N. P. *Pererabotka nizkokachestvennogo drevesnogo syr'ya* [Processing of low-quality wood raw materials]. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 288 p. (In Russian).
16. Isachenkov V. S., Simanovich V. A. Substantiation of the parameters of tow technology equipment wheeled skidders. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2, Forest and Woodworking Industry, pp. 23–27 (In Russian).
17. Loy V. N., Germanovich A. O. Modeling the work of a self-propelled chipper with an autonomous engine. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 2, Forest and Woodworking Industry, pp. 18–21 (In Russian).
18. Mokhov S. P., Simanovich V. A., Ariko S. Ye. Assessment of the influence of external force factors on the process of tree fall. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2, Forest and Woodworking Industry, pp. 28–31 (In Russian).
19. Kochegarov V. G., Bit Yu. A., Men'shikov V. N. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and machines logging activities]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 392 p. (In Russian).

Информация об авторах

Кононович Денис Александрович – ассистент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: denkon_92@mail.ru

Information about the authors

Kononovich Denis Aleksandrovich – Assistant Lecturer, 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: denkon_92@mail.ru

Поступила 15.10.2021