

УДК 625.711.84

Ю. И. Мисуно

Белорусский государственный технологический университет

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ
ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ
ЛЕСНЫХ МАШИН С ПОЧВОГРУНТАМИ**

Одним из наиболее важных и актуальных направлений исследований путей совершенствования технологии лесозаготовок с точки зрения минимизации негативного влияния составляющих технологического процесса на компоненты лесной экосистемы является изучение процесса взаимодействия движителей лесных машин с почвогрунтом. По данной тематике было проведено большое количество экспериментальных исследований, в которых применялись различные методы и способы проведения научных исследований для получения достоверных опытных данных. Как показывает анализ литературных источников, для более полного и точного анализа влияния различных факторов на процесс взаимодействия движителя с опорной поверхностью проведение экспериментальных исследований должно включать в себя как определение показателей воздействия движителя на опорную поверхность, а так и изменения состояния почвогрунта в результате проходов лесной техники.

В данной статье приводится описание методики экспериментальных исследований, которая позволяет осуществить комплексную оценку эксплуатационно-экологической совместимости движителей лесных машин с почвогрунтами. Представленная методика включает в себя два этапа по определению параметров воздействия исследуемого движителя, а также степени повреждения лесного почвогрунта в результате выполнения лесосечных работ. Каждый этап включает в себя описание последовательности выполняемых полевых и лабораторных исследований. Дана методика проверки адекватности полученных данных и их сравнительного анализа с результатами теоретических исследований.

Ключевые слова: методика, экспериментальные исследования, форвардер, движитель, лесосека, почвогрунт, воздействие.

Для цитирования: Мисуно Ю. И. Методика экспериментальных исследований по оценке эксплуатационно-экологической совместимости лесных машин с почвогрунтами // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 132–140.

Yu. I. Misuno

Belarusian State Technological University

**METHODOLOGY FOR EXPERIMENTAL STUDIES TO ASSESS
THE OPERATIONAL AND ENVIRONMENTAL COMPATIBILITY
OF FOREST MACHINES WITH SOIL**

One of the most important and topical areas of research on ways to improve the technology of logging from the point of view of minimizing the negative impact of the components of the technological process on the components of the forest ecosystem is the study of the process of interaction of the movers of forest machines with soil. A large number of experimental studies have been carried out on this topic, in which various methods and ways of scientific research were used to obtain reliable experimental data. As the analysis of literary sources shows, for a more complete and accurate analysis of the influence of various factors on the process of interaction of the mover with the support surface, experimental research should include both the determination of the indicators of the impact of the mover on the support surface, as well as changes in the state of the soil as a result of the passage of forestry machinery.

This article describes the experimental research methodology, which allows for a comprehensive assessment of the operational and environmental compatibility of forest machine movers with soil. The presented method includes two stages for determining the parameters of the impact of the investigated mover, as well as the degree of damage to forest soil as a result of cutting operations. Each stage includes a description of the sequence of field and laboratory studies performed. A method is given for checking the adequacy of the obtained data and their comparative analysis with the results of theoretical studies.

Key words: methodology, experimental research, forwarder, mover, cutting area, soil, impact.

For citation: Misuno Yu. I. Methodology for experimental studies to assess the operational and environmental compatibility of forest machines with soil. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 132–140 (In Russian).

Введение. Область научных исследований, направленная на изучение влияния объектов лесозаготовительного производства на обеспечение экологической безопасности компонентов лесной экосистемы, остается актуальной уже на протяжении нескольких десятков лет [1, 2]. Дальнейшее развитие на основе принципов устойчивого лесопользования и лесопользования диктует жесткие требования для лесозаготовителей. С учетом данных тенденций повышение эффективности лесозаготовительного производства, организации выполнения лесосечных работ и обеспечение экологической безопасности компонентов лесной экосистемы при использовании специализированной техники возможно не только за счет накопления производственного опыта, но и благодаря всестороннему изучению взаимодействия всех компонентов лесозаготовительного производства друг на друга.

Одним из наиболее важных и актуальных направлений исследований путей совершенствования технологий лесозаготовок является минимизация негативного воздействия лесных машин на почвогрунт [3–5]. По данной тематике существует большое количество экспериментальных исследований, в которых применялись различные методы и способы проведения научных исследований для получения достоверных опытных данных.

Как показывает анализ литературных источников [3–11], экспериментальная часть научных исследований включает в себя выполнение работ в полевых и лабораторных условиях. В полевых производственных условиях получают данные о воздействии движителей лесных машин на почвогрунт (параметры колеи, степень минерализации) и физико-механических характеристик лесного почвогрунта (модуль упругости, модуль деформации, индекс конуса). Кроме того, осуществляется отбор проб почвогрунта для изучения изменения его параметров после прохода машин (влажность, плотность, пористость и др.), а также определения его прочностных показателей в лабораторных условиях.

Методика и последовательность выполнения таких испытаний приведены в большом количестве работ [6–8]. Различие между ними заключается в основном в природно-климатических условиях, где проходят исследования, а также в типе и конструктивных особенностях применяемых лесотранспортных и лесозаготовительных машин.

Также для определения некоторых параметров взаимодействия движителя с почвогрунтом, например площади контакта, давления движителя на опорное основание, буксования и др., проводятся стендовые испытания, которые

позволяют выполнить имитационное моделирование, варьируя параметры как движителя, так и опорного основания. В качестве примера можно отметить возможность использования грунтового канала (рис. 1) [9], различное измерительное оборудование, например, прототип платформы для нагрузочных испытаний лесных машин (рис. 2) [10], сетчатый датчик для измерения распределения давления в зоне контакта движителя с опорным основанием, а также площади отпечатка колеса при статической нагрузке на колесо (рис. 3) [11].



Рис. 1. Грунтовый канал кафедры ЛМДиТЛП (БГТУ)



Рис. 2. Прототип платформы для нагрузочных испытаний лесных машин

Проведение полевых экспериментальных исследований позволяет получить большее количество данных о воздействии конкретных лесных

машин в определенных природно-производственных условиях движения по сравнению с лабораторными испытаниями путем имитационного моделирования. Но ввиду их многообразия такие исследования являются трудозатратными. И не каждая научно-исследовательская работа может быть обеспечена необходимым объемом финансирования для закупки стендового оборудования.



Рис. 3. Сетчатый датчик для определения параметров зоны контакта колеса с опорной поверхностью

В данной работе на основании анализа результатов научных исследований, материалов по теме разработаны методы проведения экспериментальных исследований по оценке эксплуатационно-экологической совместимости двигателей лесных машин с почвогрунтами.

Основная часть. Основная задача экспериментальных исследований заключается в изучении основных факторов, влияющих на совместимость лесных машин и почвогрунта при проведении лесозаготовительных работ на лесосеке. Кроме того, полученные результаты экспериментов позволяют получить подтверждение теоретических исследований и провести проверку адекватности разрабатываемой математической модели.

Разработка плана эксперимента осуществлялась по следующему алгоритму.

1. Формулировка цели и задач эксперимента.
2. Выбор объектов исследования.
 - определение исследуемых факторов и диапазона варьирования параметров;
 - выбор и обоснование средств измерений;
 - тарировка и поверка оборудования;

- обоснование объема эксперимента, числа опытов;
- определение порядка и последовательности проведения опытов;
- непосредственное выполнение экспериментов;
- выбор и обоснование способов обработки и анализа результатов.

В соответствии с приведенным алгоритмом и направлением исследований далее дается описание разработанного плана методики экспериментальных исследований.

Целью экспериментальных исследований является получение необходимых данных в условиях производства для того, чтобы оценить влияние двигателей лесных машин на почвогрунт.

Объектами экспериментальных исследований являются лесотранспортные машины, выполняющие переместительные операции (в основном это специализированные или прицепные форвардеры, трелевочные трактора), их двигатель и лесной почвогрунт.

Проведение экспериментальных исследований включает в себя 2 этапа (рис. 4 и 5). Суть и содержание представленных этапов следующая.

Этап 1. Определение давления колес на опорное основание, распределение нагрузки на колеса форвардера при выполнении погрузочно-разгрузочных операций, а также в зависимости от рейсовой нагрузки. Изучение влияния конструктивных особенностей шин на почвогрунт.

Этап 2. Оценка повреждения почвогрунта на лесосеке после проведения лесосечных работ. Этап включает исследование основных показателей (плотность почвогрунта, модуль деформации, глубина колеи и др.), по которым можно выполнить оценку воздействия колесного двигателя форвардера на почвогрунт в реальных эксплуатационных условиях.

Для обеспечения получения более точных результатов необходимо провести минимальное число повторений опытов, при котором среднее арифметическое, найденное по всей выборке, отличалось бы от математического ожидания не более чем на заданную величину максимальной ошибки. Тогда требуемое количество опытов определяется по формуле [12]

$$n = \frac{t^2 s^2}{\Delta^2}, \quad (1)$$

где t – критерий Стьюдента; s^2 – оценка дисперсии; Δ – максимальная ошибка при измерениях.



Рис. 4. Схема проведения экспериментальных исследований по оценке воздействия двигателя форвардера на опорное основание (этап 1)

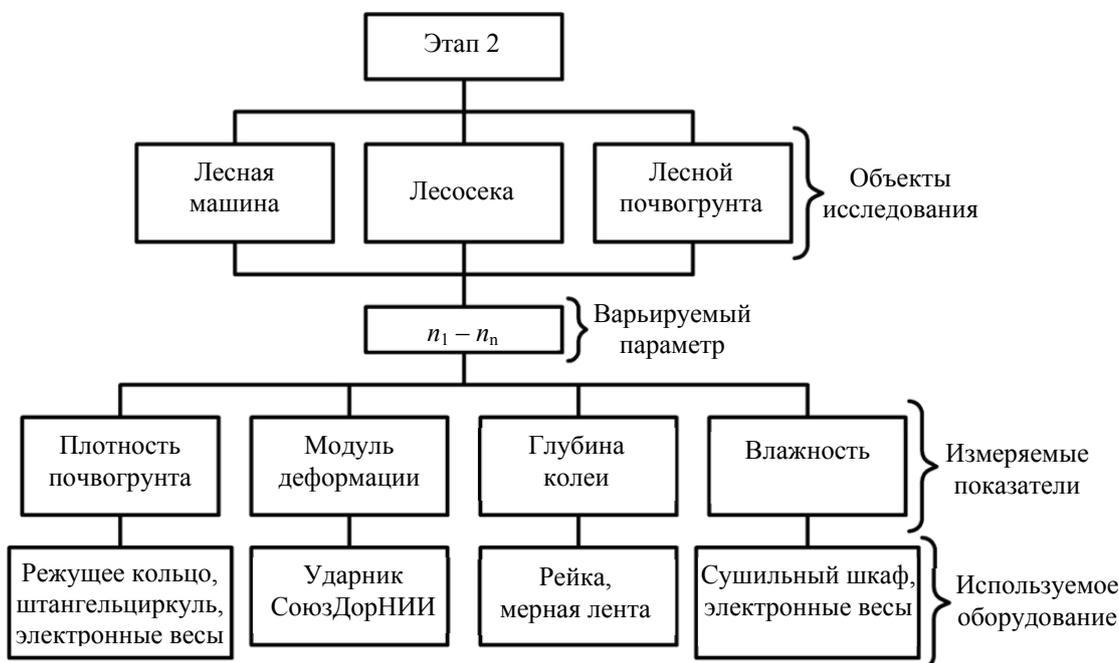


Рис. 5. Схема проведения экспериментальных исследований по оценке степени повреждения почвогрунта в результате проведения лесосечных работ (этап 2)

Измерительное оборудование. При проведении экспериментальных исследований по оценке давления и распределения нагрузки на ось для записи параметров использовалась

измерительная аппаратура в составе восьмиканального многофункционального измерительного усилителя Spider 8 и портативного переносного компьютера (рис. 6). Регистрация

силовых параметров производилась тензометрическими датчиками вертикальных нагрузок УД-1 (рис. 7). Для определения массы сортиментов использовался датчик силы U9B (рис. 8) фирмы «НВМ».

Питание измерительного комплекса осуществлялось от аккумуляторов «Зубр Standard» (60Ah).



Рис. 6. Измерительное оборудование в составе многофункционального измерительного усилителя Spider 8 и портативного ПК



Рис. 7. Тензометрические датчики вертикальных нагрузок УД 1



Рис. 8. Датчик силы UB9

Программное обеспечение Catman позволяло настраивать, производить тарировку и проверку работоспособности датчиков. Запись измеряемых параметров осуществлялась на жесткий диск компьютера и сопровождалась графической визуализацией процесса. Для каждого канала была установлена частота опроса датчиков 50 Гц. В результате измерений получены мас-

сивы значений измеряемых параметров в цифровом формате, соответствующие реальному времени с дискретностью 0,02 с. Регистрация определяемого параметра производилась тензометрическим методом с относительной погрешностью 0,5%. Обработка полученных массивов данных осуществлялась с помощью методов математической статистики.

При проведении экспериментальных исследований соблюдались требования техники безопасности, в соответствии с которыми измерительное оборудование располагалось на расстоянии 20 м от места проведения работ.

Для определения характеристик исследуемого почвогрунта в условиях лесосеки использовались режущее кольцо, ударник СоюзДорНИИ, рулетка (рис. 9).



Рис. 9. Оборудование для определения характеристик лесного почвогрунта в полевых условиях:

а – режущее кольцо;
б – ударник СоюзДорНИИ; в – рулетка

Кроме того, для количественной оценки характеристик почвогрунта проводился ряд лабораторных исследований. При этом использовались штангенциркуль, электронные весы и сушильный шкаф.

Методика выполнения экспериментальных исследований. Одним из основных критериев оценки совместимости движителя с опорной поверхностью является давление. Сведение данного показателя до минимума позволит обеспечить не только щадящий режим работы техники на лесных почвогрунтах, в том числе и на слабых, но и высокие показатели проходимости машин и их производительности.

Потому задача 1-го этапа исследований – оценка влияния выполнения погрузочно-раз-

грузочных и трелевочных работ форвардера на реакцию опорного основания и на распределение нагрузок по осям машин. При этом дополнительно должно быть изучено влияние геометрических характеристик шин и рейсовой нагрузки на величину площади отпечатка колеса на жестком основании и на внутреннее давление воздуха в шине.

Подробное описание последовательности выполнения данного этапа исследований было выполнено ранее [13].

2-й этап исследований включает в себя определение изменения характеристик почвогрунта и его деформации на лесосеке в результате проезда техники. Изменяемыми величинами в данном случае являются плотность почвогрунта, влажность, модуль деформации и глубина колеи.

Местом проведения соответствующих исследований является лесосека после выполнения основных лесосечных работ. По материалам отвода изучаются таксационные показатели лесосеки, а по данным технологической карты – принятый технологический процесс и система машин для разработки лесосеки.

Исследования степени повреждения лесного почвогрунта включают в себя отбор проб почвогрунта для определения влажности и плотности в лабораторных условиях, а также проведение замеров на лесосеке модуля деформации и глубины колеи. Последовательность выполнения полевых и лабораторных работ следующая.

Первоначально составляется предварительная схема расположения трелевочных волоков на лесосеке с указанием прямолинейных и криволинейных участков. Одновременно с этим определяются размеры трелевочных волоков путем измерения их длины и средней ширины. Средняя ширина пасечных и магистральных волоков находится путем выполнения замеров через каждые 10–20 м (в зависимости от длины волока). Произведением длины волоков на их среднюю ширину определяется общая площадь трелевочных волоков. Аналогичным образом определяется площадь других технологических элементов лесосеки.

Процентное соотношение площади технологических элементов от общей площади лесосеки находится как соотношение суммарной площади всех технологических элементов лесосеки к общей ее площади.

После производится измерение характеристик почвогрунта. Плотность почвогрунта определяется методом режущего кольца, который позволяет установить плотность связных грунтов, легко поддающихся вырезке, а также и в том случае, когда объем и форма отбираемого

образца грунта могут быть сохранены только при помощи жесткой тары. Исследования проводятся методом парного сравнения, при котором плотность почвы в колее сравнивается с контрольным неуплотненным участком возле колеи.

При помощи режущего кольца берутся пробы почвогрунта в колее и на контрольных неуплотненных участках, которые затем помещаются в герметичные пакеты.

После, уже в лабораторных условиях, определяется естественная влажность и плотность образцов почвы. Для определения плотности используются штангенциркуль и электронные весы. При помощи штангенциркуля измеряются внутренний диаметр, высота кольца и по формуле рассчитывается его объем:

$$V = \pi r^2 h, \quad (2)$$

где r – радиус режущего кольца, м; h – высота режущего кольца, м.

На электронных весах измеряется масса взятых при помощи режущего кольца проб почвогрунта. В итоге плотность почвогрунта определяется путем деления массы пробы на объем кольца.

Определение естественной влажности почвогрунта выполняется сушильно-весовым методом. Для этого используются бюксы, электронные весы и сушильный шкаф. Образцы почвогрунта после предварительного взвешивания помещаются в сушильный шкаф, в котором поддерживается температура 100–105°C. Образцы высушиваются до постоянной массы, которая устанавливается периодическим взвешиванием.

Величина влажности почвогрунта в процентах определяется по формуле

$$W = \frac{m_b - m_c}{m_c - m_6} 100, \quad (3)$$

где m_b – масса влажного грунта и бюксы, г; m_c – масса высушенного грунта (до постоянного веса) и бюксы, г; m_6 – масса бюксы, г.

Модуль деформации почвогрунта определяется в колее и на контрольном участке с помощью ударника СоюзДорНИИ. Принцип действия ударника основан на погружении наконечника в грунт на глубину 0,1 м при определенном числе ударов груза весом 25 Н о шайбу при свободном падении с высоты 0,4 м.

Модуль деформации рассчитывается в зависимости от числа ударов N по формуле Бируля:

$$E_0 = 1,55N. \quad (4)$$

Деформация почвы (или глубина колеи) измеряется отдельно для левой и правой колеи

с помощью рейки и линейки с точностью до 0,1 см.

Обработка результатов. Результаты экспериментальных исследований представляют собой выборку статистических данных, обработка которых позволяет определить закономерности между постоянными и варьируемыми параметрами, а также значения, характеризующие исследуемый процесс.

Обработка результатов экспериментальных исследований осуществляется в следующей последовательности.

1. Исключение из выборок аномальных результатов исследований.

2. Проверка однородности дисперсий.

3. Определение оценок коэффициентов регрессионной модели.

4. Проверка значимости коэффициентов регрессионной модели, отбрасывание незначимых членов модели и повторное определение оценок коэффициентов модели, если план эксперимента не ортогональный.

5. Определение дисперсии воспроизводимости опытов, дисперсии адекватности и проверка адекватности модели опытным данным [12].

Адекватность полученных данных экспериментальных исследований и сравнительной их оценки с результатами математического моделирования процесса взаимодействия движителя с почвогрунтом устанавливается на этапе проверки однородности дисперсий. Для чего определяется соотношение между дисперсией адекватности s_1^2 , получаемой на основании результатов экспериментальных исследований, и дисперсией воспроизводимости s_2^2 (результаты математического моделирования). Для этого может быть использован критерий Фишера, который позволяет проверить нуль-гипотезу о равенстве двух генеральных дисперсий σ_1^2 и σ_2^2 .

Если вычисленное отношение критерия

$$F_{\text{расч}} = s_1^2 / s_2^2 \quad (5)$$

меньше критического $F_{\text{кр}}$, определяемого по таблице для соответствующих степеней свободы и при заданном уровне значимости, то нуль-гипотеза принимается. В противном случае гипотеза отвергается. Если выборочная дисперсия неадекватности не проходит оценки дисперсии воспроизводимости, тогда F -отношение меньше (или равно) единицы и неравенство $F < F_{\text{кр}}$ выполняется для любого числа степеней свободы, то есть гипотеза $\sigma_1^2 \leq \sigma_2^2$ не противоречит экспериментальным данным и математическая модель адекватно описывает исследуемый процесс [12, 14].

Заключение. Планирование и организация проведения экспериментальных исследований

должны обеспечить получение необходимого количества точных сведений и данных об исследуемых объектах и процессах. При разработке методики проведения экспериментов по оценке работы лесозаготовительных машин и их влияния на лесной почвогрунт следует учесть большое количество параметров и условий их взаимодействия: тип движителя и его конструктивные параметры, тип почвогрунта и его характеристики, природно-климатические условия и т. д. Поэтому первоначально важно установить с точки зрения наибольшего влияния, какие параметры следует определить и в каких условиях должны проводиться эксперименты, чтобы обеспечить достаточно точное математическое описание исследуемого процесса.

Еще одним условием при планировании экспериментов является наличие необходимых средств и материальных ресурсов: измерительного оборудования, полномасштабных объектов исследований, производственной базы, лабораторий и т. д.

В соответствии с этим разработка и планирование экспериментальных исследований должны базироваться на следующих основных принципах:

- использование имеющейся научно-исследовательской базы;

- обеспечение получения необходимого количества данных с возможностью исследований влияния на них различных факторов;

- обеспечение точности получаемых данных.

Представленная в данной работе методика экспериментальных исследований позволяет решить большинство задач, проводимых в рамках научной работы по оценке эксплуатационно-экологической совместимости лесных машин с почвогрунтами. Поэтапное проведение исследований, которое включает в себя работу в естественных производственных условиях, в лабораториях и на специальных площадках (полигонах), позволяет изучить влияние случайных факторов на процесс взаимодействия движителя лесной машины с почвогрунтом и провести варьирование различных параметров в контролируемых условиях, что дает возможность обеспечить точность полученных данных.

Дальнейшая работа будет связана с увеличением диапазона исследуемых типажей и параметров движителей, а также условий их эксплуатации. Одновременно с этим ведется работа по включению дополнительного этапа исследований по определению показателя буксования при движении лесных машин в различных условиях, а также работоспособности трелевочных волоков (или их транспортной способности) методом пенетрации.

Список литературы

1. Агейкин Я. С. Проходимость автомобилей. М.: Машиностроение, 1981. 232 с.
2. Беккер М. С. Введение в теорию систем местность – машина. М.: Машиностроение, 1973. 520 с.
3. Сюнев В. С., Давыдков Г. А. Воздействие машин на лесные почвы // *Resources and Technology*. 2001. № 3. С. 88–91.
4. Котиков В. М. Воздействие лесозаготовительных машин на лесные почвы: автореф. ... д-ра техн. наук. М., 1993. 37 с.
5. Федоренчик А. С. Экологические особенности проектирования и использования лесной техники // Актуальные вопросы стратегии развития лесного хозяйства Беларуси: материалы респ. науч.-практ. семинара, пос. Ждановичи, 10 апр. 2012 г. Минск, 2012. С. 79–87.
6. Solgi A., Najafi A., Sam Daliri H. Assessment of Crawler Tractor Effects on Soil Surface Properties // *Caspian J. Env. sci*. 2013. Vol. 11, no. 2. P. 185–194.
7. Soil disturbance caused by ground-based skidding at different soil moisture conditions in Northern Iran / R. Naghdi [et al.] // *International Journal of Forest Engineering*. 2016. Vol. 27, no. 3. P. 169–178.
8. Rutting and soil displacement caused by 450C Timber Jack wheeled skidder (Asalem forest northern Iran) / R. Naghdi [et al.] // *Journal of forest science*. 2009. No. 55. P. 177–183.
9. Протас П. А. Актуализация лесосырьевого потенциала обеспечением эксплуатационно-экологической совместимости систем машин с почвогрунтами на принципах устойчивого лесопользования: автореф. ... канд. техн. наук. Минск, 2010. 24 с.
10. Labelle E. R., Jaeger D. Effects of steel flexible tracks on forwarder peak load distribution: results from a prototype load test platform // *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2019. No. 40. P. 1–23.
11. Influence of wheel load and tire inflation pressure on footprint area in static regime / N. Ungureanu [et al.] // *Actual Tasks on Agricultural Engineering: materials on the 44th International Symposium*, Opatija, 23–26 Febr. 2016. Opatija, Croatia. 2016. P. 99–110.
12. Родионов П. М. Основы научных исследований. Л., 1989. 100 с.
13. Протас П. А., Мисуно Ю. И. Исследование давления колесного движителя форвардера «АМКОДОР 2661-01» на опорную поверхность // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов*. 2017. № 2. С. 251–258.
14. Матыс В. Г., Жилинский В. В. Основы научных исследований и инновационной деятельности. Минск: БГТУ, 2016. 161 с.

References

1. Ageykin Ya. S. *Prokhdimost' avtomobiley* [Passability of cars]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1981. 232 p.
2. Bekker M. S. *Vvedeniye v teoriyu sistem mestnost' – mashina* [An Introduction to Terrain – Machine Systems Theory]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1973. 520 p.
3. Syuney V. S., Davydkov G. A. Impact of machines on forest soils. *Resources and Technology*, 2001, no. 3, pp. 88–91 (In Russian).
4. Kotikov V. M. *Vozdeystviye lesozagotovitel'nykh mashin na lesnyye pochvy. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Impact of forestry machines on forest soils. Abstract of thesis cand. of engineer. sci.]. Moscow, 1993. 15 p.
5. Fedorenchik A. S. Environmental features of the design and use of forestry equipment. *Materialy respublikanskogo nauchno-prakticheskogo seminara "Aktual'nyye voprosy strategii razvitiya lesnogo khozyaystva Belarusi"* [Materials of the Republican Scientific and Practical Seminar "Topical Issues of the Strategy for the Development of Forestry in Belarus"]. Minsk, 2012, pp. 79–87 (In Russian).
6. Solgi A., Najafi A., Sam Daliri H. Assessment of Crawler Tractor Effects on Soil Surface Properties. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 2013, vol. 11, no. 2, pp. 185–194.
7. Naghdi R., Solgi A., Zenner E. K., Tsioras P., Nikooy M. Soil disturbance caused by ground-based skidding at different soil moisture conditions in Northern Iran. *International Journal of Forest Engineering*, 2016, vol. 27, no. 3, pp. 169–178.
8. Naghdi R., Bagheri I., Lotfalian M., Setodeh B. Rutting and soil displacement caused by 450C Timber Jack wheeled skidder (Asalem forest northern Iran). *Journal of forest science*, 2009, no. 55, pp. 177–183.
9. Protas P. A. *Aktualizatsiya lesosyr'yevogo potentsiala obespecheniyem ekspluatatsionno-ekologicheskoy sovmestimosti sistem mashin s pochvogruntami na printsipah ustoychivogo lesopol'zovaniya. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Actualization of the forest raw material potential by ensuring the operational and environmental compatibility of machine systems with soil based on the principles of sustainable forest management. Abstract of thesis cand. of engineer. sci.]. Minsk, 2017. 24 p.

10. Labelle E. R., Jaeger D. Effects of steel flexible tracks on forwarder peak load distribution: results from a prototype load test platform. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2019, no. 40, pp. 1–23.

11. Ungureanu N., Vladut V., Voicu G., Biris S., Ionescu M., Dincă M., Vlăduț D. I., Matache M. G. Influence of wheel load and tire inflation pressure on footprint area in static regime. *Actual Tasks on Agricultural Engineering: materials on the 44th International Symposium*, 2016, pp. 99–110.

12. Rodionov P. M. *Osnovy nauchnykh issledovaniy* [Fundamentals of Scientific Research]. Leningrad, 1989. 100 p.

13. Protas P. A., Misuno Yu. I. Investigation of pressure of the forwarder “AMKODOR 2661-01” wheeler on the base surface. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2017, no. 2, pp. 251–258 (In Russian).

14. Matys V. G., Zhilinskiy V. V. *Osnovy nauchnykh issledovaniy i innovatsionnoy deyatel'nosti* [Fundamentals of Research and Innovation]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 161 p.

Информация об авторе

Мисуно Юлия Игоревна – аспирант кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: julia.misuno@yandex.ru

Information about the author

Misuno Yuliya Igorevna – PhD student, 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: julia.misuno@yandex.ru

Поступила 19.10.2020