

УДК 630*372

А. О. Шошин, П. А. Протас, С. П. Мохов, С. Е. Арико
Белорусский государственный технологический университет

**МЕТОДИКА ИМИТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ
ОДНОМАЧТОВОЙ КАНАТНОЙ УСТАНОВКИ
ДЛЯ ПОЛУПОДВЕСНОЙ ТРЕЛЕВКИ ДРЕВЕСИНЫ**

На 2016 год Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь доведен общий объем заготовки древесного сырья по труднодоступному лесосечному фонду в размере 1,379 млн. м³. Ежегодная доля таких лесов находится в пределах 4–8%. Освоение лесосек в данных условиях широко внедряемыми в последнее время харвестерами и форвардерами неэффективно, а в большинстве случаев невозможно. Ограничениями в данном случае являются низкая несущая способность грунтов и экологическая чувствительность лесных экосистем. Учитывая наличие труднодоступных заболоченных территорий лесосечного фонда в Республике Беларусь, для их освоения ведутся работы по созданию мобильной канатной трелевочной установки. С целью обоснования параметров канатной установки, а также разработки рекомендаций по ее использованию необходимо проведение экспериментальных исследований в реальных условиях эксплуатации. В частности, необходимо получить данные о характере возникающих усилий в канатах при выполнении операции первичного транспорта древесины, определить напряжения в трелевочных мачтах. Такие данные можно получить путем проведения имитационных испытаний установки, когда объектом исследования может быть трелевочный трактор с канатно-чокерной оснасткой и дополнительным технологическим оборудованием. В данной статье приведена разработанная методика имитационных испытаний канатной системы, дано описание проведения исследований, экспериментальной установки и измерительного оборудования.

Ключевые слова: канатная установка, методика испытаний, датчик, тяговое усилие.

A. O. Shoshin, P. A. Protas, S. P. Mokhov, S. E. Ariko
Belarusian State Technological University

**METHOD SIMULATION TEST SINGLE-MASTED CABLE SETTING
FOR HALF HANGING TIMBER SKIDDING**

In 2016 the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus brought the total amount of raw wood blanks for hard-cutting fund of 1,379 million m³. The annual share of such forests is in the range of 4–8%. Development of cutting areas under such conditions widely introduced recently harvesters and forwarders is not effective, and in most cases impossible. Constraints in this case are the low bearing capacity of soils and environmental sensitivity of forest ecosystems. Given the difficult wetlands forest fund in the Republic of Belarus, for their development work is underway to create a mobile skidder cable installation. In order to study the parameters of the cable installation, as well as the development of recommendations on its use is necessary to conduct experimental research in real-world conditions. In particular it is necessary to obtain data on the nature of the emerging forces in the ropes during the operation of the primary transport of wood to determine the stresses in the skid masts. Such data can be obtained by carrying out simulation test facility, when the object of study can be skidder with choker rope-rigging and additional process equipment. This article describes a technique developed simulation test the cable system, a description of the research, of the experimental setup and measurement equipment.

Key words: cable setting, test procedure, sensor, pulling force.

Введение. В настоящее время в Республике Беларусь в распоряжении субъектов, ведущих заготовку древесных ресурсов, отсутствует единая научно обоснованная технология и технические средства разработки труднодоступных, экологически чувствительных лесных массивов. При этом на 2016 год Министерством лесного хозяйства доведен общий объем заготовки по труднодоступному лесосечному фонду в размере 1,379 млн. м³ [1].

При ежегодном приросте запасов древесины до 30 млн. м³ и общем объеме заготовки 19–20 млн. м³ будет наблюдаться тенденция к увеличению спелых и перестойных насаждений. Соответственно будут переходить в разряд спелых и насаждения, находящиеся в заболоченной местности.

Наметившаяся тенденция к увеличению объемов заготовки древесины за счет использования многооперационных машинных комплексов не

обеспечит полное освоение мягколиственных заболоченных лесных массивов.

Из существующих на сегодняшний день технических средств для разработки труднодоступного лесосеченого фонда (лесные машины с гусеничным движителем, шагающей ходовой системой, минитракторы, канатные установки и т. д.) наиболее эффективными для условий Республики Беларусь могут быть рекомендованы мобильные канатные трелевочные установки. В Беларуси имелся определенный опыт применения таких установок. Так, по данным Ходосовского М. В. [2], объем лебедочной заготовки в период с 1956 по 1966 годы варьировался от 0,20 до 0,45 млн. м³ в год, с учетом того что расчетная лесосека была в несколько раз меньше, чем сейчас, а сменная выработка на одну установку находилась в пределах 18–25 м³.

В последние годы в стране также существует положительная практика применения канатных трелевочных установок. Так, на данный момент успешно ведется заготовка древесины на заболоченных лесосеках чешской канатной установкой Larix 3T. В период с января по март 2010 года в ГЛХУ «Брестский лесхоз» работала установка Larix Lamako [3], которой за период с января по март было отработано 32 смены и заготовлено 1122 м³ при средней сменной выработке 35 м³.

В странах Европы, таких как Австрия и Швейцария, доля использования канатного транспорта древесины в настоящее время составляет более 20% от общего объема заготовки [4]. Важно отметить, что отличительным лесорастительным аспектом этих стран является значительная доля горных лесов, однако нельзя недооценивать перспективу применения таких установок и для заболоченного лесфонда.

Минским тракторным заводом ведутся работы по производству первой отечественной канатной установки для полуподвесной трелевки МТК-431 [5]. Данная установка на данный момент проходит доработку и практическую апробацию.

С целью разработки рекомендаций по эксплуатации отечественной канатной установки, обоснования параметров ее основных узлов необходимо иметь конкретные данные о характере возникающих усилий в канатах при выполнении операции первичного транспорта древесины, определить напряжения в трелевочных мачтах и т. д. С достаточной степенью точности такие данные можно получить путем проведения имитационных испытаний установки, когда объектом исследования может быть трелевочный трактор с канатно-чокерной оснасткой и дополнительным технологическим оборудованием.

Основная часть. Анализ работ отечественных и зарубежных авторов [2, 3, 6–11] и практических наблюдений позволил выбрать предмет исследования и определить основные проблемные моменты для изучения. Например, как отмечает профессор Белая Н. М. [10], «наиболее опасные режимы работы тягового каната соответствуют периоду подтягивания груза со стороны к линии несущего каната, подъема к каретке, прицепки и стопорения, при этом динамические коэффициенты составляют от 1,5 до 2,4 в зависимости от веса груза и времени его стопорения». Исходя из этого, целью эксперимента является исследование характера движения лесоматериалов при выполнении операции подтрелевки канатными трелевочными установками для полуподвесного транспорта древесины.

Разработанная методика экспериментальных испытаний включает следующие основные этапы:

- а) выбор предмета исследования;
- б) оценка и выбор условий для проведения исследований;
- в) подготовка экспериментального участка;
- г) выбор и подготовка измерительной аппаратуры и экспериментальной установки;
- д) регистрация полученных данных и их обработка существующими методами.

Предмет исследования – усилия в тяговом канате при выполнении подтрелевки хлыстов. Для проведения экспериментальных измерений тягового усилия в летнее время была выбрана полоса лесосеки, отведенной для полосно-постепенной рубки шириной 50×20 м. Работы велись в 13-м выделе 77-го квартала Центрального лесничества Негорельского учебно-опытного лесхоза. Тип леса – сосняк орляковый. Тип условий местопроизрастания – В2. Подрост отсутствовал. Средний объем хлыста – 0,46 м³.

Перед проведением эксперимента была проведена валка всех деревьев на полосе вершинами к ее центру (рис. 1).

Валка деревьев и обрезка сучьев проводилась до монтажа установки. На выбранной лесосеке отсутствовали высокие пни, «сидящие» на корневых лапах, которые являются одной из основных проблем при разработке заболоченного лесфонда, однако с точки зрения технологической приближенности имитации процесса подтрелевки было учтено большинство возникающих в процессе трелевки ситуаций.

При валке деревьев имитировались несколько производственных ситуаций последующей трелевки: трелевка хлыстов, поваленных на подкладочное дерево (костромской метод) при изменении угла трелевки; трелевка хлыстов под углом; трелевка, при которой ось каната совпадала с осью хлыста.



Рис. 1. Экспериментальный участок (полоса разрабатываемой лесосеки)

В процессе эксперимента был смитирован процесс подтрелевки хлыстов для полуподвесных канатных установок типа Lagix 3T, МТК-431. Результатом проведенных испытаний являются опытные данные о характере возникающих усилий в процессе подтрелевки лесоматериалов, на основе которых можно осуществлять выбор тягового каната, а также расчет мощности привода лебедки и других параметров.

Для проведения эксперимента был принят способ полуподвесной трелевки хлыстами. С точки зрения проходимости хлыста по трелевочному коридору наиболее эффективным из всех является способ трелевки хлыстов за вершины. При таком способе вершина хлыста весьма значительно прогибается [2, 7], что позволяет хлысту относительно беспрепятственно проходить по волоку. По исследованиям Алышева И. Ф. [6], коэффициент сопротивления при трелевке еловых деревьев принимает значения в диапазоне 0,65–1,64, для деревьев остальных пород – 0,62–1,53. При этом автор производил исследование характера изменения возникающих усилий «по чистому волоку», т. е. при наиболее благоприятных условиях. Алышев И. Ф. определил, что при трелевке хлыстов без вершин зависимость коэффициента сопротивления движению и расстояния трелевки имеет линейный характер, в то время как зависимость для трелевки деревьев представляет собой квадратное уравнение. Это объясняет значительные усилия тяги, в наихудших условиях в 1,5 раза превышающие вес пачки.

При выборе измерительной аппаратуры были проанализированы методики испытаний ученых НЛТУ – Белой Н. М., Адамовского Н. Г., Матвеева Э. Н., которые исследовали усилия в тяговом органе канатных трелевочных установок. Для проведения испытаний по [8–10] применялся метод электротензометрирования, «основанный на преобразовании измеряемых механических величин в пропорциональные им электрические с помощью датчиков сопротивления и регистрацией сигналов осциллографом». Для измерения усилий в тяговом канате использовался способ косвенных замеров с по-

мощью двух-, трех- и четырехблочных динамометрических кареток, оборудованных кольцевыми тензоэлементами [8–10]. Для предварительного определения диапазона возникающих усилий в неподвижных канатах использовались динамометрические звенья.

В нашем случае в качестве измерительной аппаратуры для эксперимента применялся многоканальный измерительный усилитель сигнала НВМ Spider8, который подключался к ноутбуку с соответствующим программным приложением. Для соединения напрямую датчика силы НВМ U9B (рис. 2) с измерительным комплексом применялся кабельный удлинитель с четырьмя жилами. Питание измерительного комплекса осуществлялось с помощью автомобильного аккумулятора. Для определения «чистого» тягового усилия (без потерь на трение в блоках, перемещение самого каната), затрачиваемого на перемещение лесоматериалов, датчик силы U9B устанавливался между цепью чокара и замком (рис. 2). Со стороны хлыста датчик соединялся с помощью болта, продетого через проушину датчика с цепным чокаром путем продевания этого же болта через звено цепи. Со стороны собирающего каната датчик с помощью болта, продетого через проушину датчика, соединялся с замком для цепи собирающего каната. Измерения параметров хлыстов, а также линейные размеры испытательного участка производились 30-метровой рулеткой.

Датчик силы типа НВМ U9B (тензодатчик) предназначен для измерения величины приложенного усилия. Такие датчики (резистивные) предназначены для преобразования усилия от веса груза в электрический сигнал, пропорциональный прикладываемому усилию. Основа датчиков – это измерительный мост, состоящий из четырех тензорезисторов, имплантированных в кремниевую мембрану (упругий элемент, воспринимающий нагрузку). Внешнее усилие передается сенсору через металлический плунжер, что вызывает деформацию мембраны и появление на выходе моста сигнала рассогласования, выраженного в мВ/В [12, 13]. Данный

сигнал регистрировался усилителем НВМ Spider8, и фактические значения возникающих усилий тяги отображались с шагом в 0,02 секунды в пакете MS Excel. Общий вид датчика и мостовая схема включения представлены на рис. 3.

Трелевочный трактор вместе с вспомогательным оборудованием (канаты для растяжек, зажимы для канатов, такелажные скобы, естественная мачта) представлял собой импровизи-

рованную одномачтовую канатную установку (рис. 4). В качестве тягового органа использовался канат лебедки ТП30 (тяговое усилие – 30 кН, длина каната – 50 м, диаметр – 12 мм) трелевочного трактора ТТР-401 [14]. Транспортирование древесины производилось при частоте вращения вала двигателя трактора 1000 об/мин, при нахождении вала отбора мощности во втором положении с частотой вращения 470 об/мин.



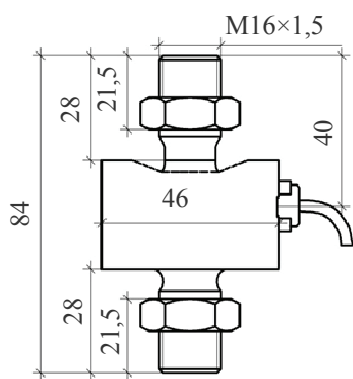
а



б

Рис. 2. Измерительная аппаратура:

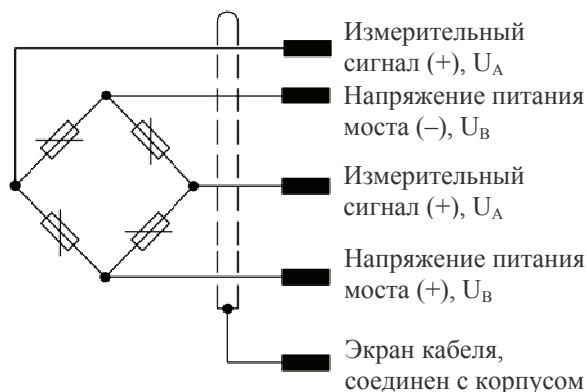
а – крепление датчика силы между чокером и замком; б – комплект измерительного оборудования



а



б



в

Рис. 3. Датчик силы U9B:

а – корпус датчика; б – внешний вид датчика без металлической оболочки; в – четырехпроводная схема включения датчика



а



б

Рис. 4. Имитационная одномачтовая канатная трелевочная установка на базе ТТР-401:

а – общий вид трактора ТТР-401; б – общий вид естественной мачты в процессе осуществления трелевки

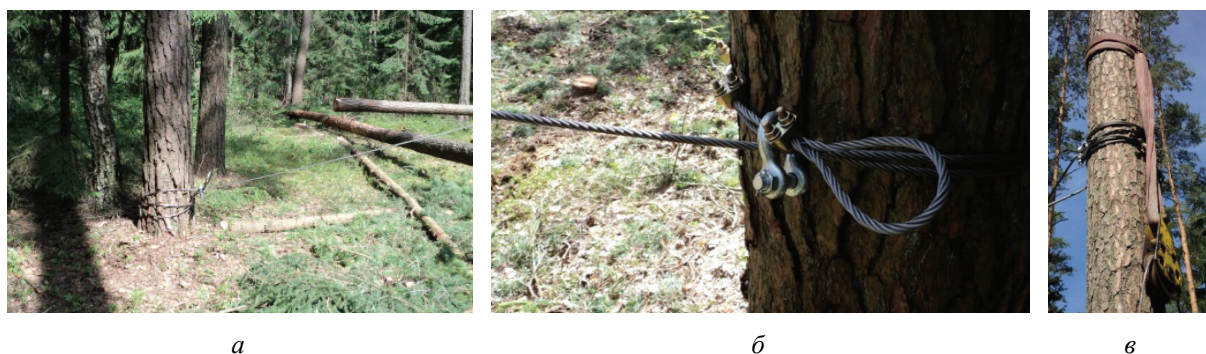


Рис. 5. Крепление растяжек:
а, б – якорное дерево; в – мачта

В результате предварительных расчетов по методике [15] было определено, что при применении двух растяжек, расположенных под углом 70° друг к другу в плане, возникающие в них усилия в результате действия максимальной силы тяги лебедки в 3 т составят 20 кН. Минимальный диаметр дерева у комля должен быть не менее 30 см. В качестве естественной мачты было выбрано здоровое сосновое дерево с диаметром на высоте груди 48 см. Для обеспечения частично полуподвесной трелевки использовался 5-тонный направляющий блок.

Выбор каната для растяжек производился в соответствии с рекомендациями [16, 17]. В качестве гибкого органа для растяжки был выбран канат стальной шестипрядный двойной свивки, диаметр – 11,5 мм, фактическое суммарное разрывное усилие проволок в канате – 101,9 кН, нераскручивающийся, количество проволок – 216, сердечник органический пеньковый, пропитанный торсиоловой смазкой марки 35 (ГОСТ 7668–80).

В качестве растяжек применялись два отрезка каната по 20 м с заделанными в петлю концами. По рекомендации [17] для сплетения каждого из концов каната были применены 3 дугообразных зажима (модель VL114213 диаметром 13 мм), зажимы были закреплены на расстоянии 80 мм друг от друга. Растяжки устанавливались к комлевой части растущих деревьев в противоположной стороне от разработанной полосы. Грузовой блок был закреплен на дереве с помощью бесконечного текстильного стропа, продетого за щеку блока. Блок располагался на мачте на высоте 3,2 м, растяжки крепились на мачте на высоте 2,7 м. С обеих сторон растяжки крепились на дереве такелажными скобами для предотвращения вырывания каната. Время на устройство двух растяжек заняло соответственно 5,3 и 5,5 мин. Затраты времени на демонтаж растяжек, блока и датчика заняли 10,2 мин.

На рис. 5 показано крепление растяжек на якорном дереве и на мачте.

При выполнении эксперимента хлысты трелевали различными способами: за комлевою и верхинную часть хлыста без подкладочного дерева и за комлевою часть с подкладочным деревом (рис. 1). При этом для получения достоверных результатов количество опытов определяется методами математической статистики.

Кроме того, деревья на участке лесосеки укладывают после валки под разным углом в определенном диапазоне, что также будет влиять на усилие в канатах при трелевке. В этой связи методикой испытаний предусмотрено проведение измерений изменения рывкового усилия тяги от первоначального угла трелевки.

Закключение. Разработанная методика имитационных испытаний одномачтовой канатной установки для полуподвесной трелевки древесины позволяет с использованием широко применяемого трелевочного трактора ТТР-401 и дополнительного оборудования проводить комплекс экспериментальных исследований с получением в реальных эксплуатационных условиях достоверных данных о возникающих усилиях в тяговом канате, растяжках и мачтах.

При этом используется комплекс измерительного оборудования: многоканальный измерительный усилитель сигнала НВМ Spider8, ноутбук с соответствующим программным приложением, датчик силы типа НВМ U9В, кабельный удлинитель, рулетка.

В качестве дополнительного оборудования к трелевочному трактору использовались: канаты для растяжек длиной 20 м и диаметром 11,5 мм; 5-тонный направляющий блок; дугообразные зажимы модели VL114213 диаметром 13 мм; текстильный строп; такелажные скобы.

В результате проведения эксперимента были получены опытные данные, которые позволяют определить основные факторы, влияющие на изменение усилия в тяговом канате в процессе подтрелевки хлыстов.

Литература

1. Лесной фонд [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства лесного хозяйства. URL: <http://www.mlh.by/ru/forestry/resources.html> (дата обращения: 19.10.2016).
2. Ходосовский М. В. Исследование проходимости хлыстов при полуподвесной трелевке лебедками: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 1968. 276 с.
3. Особенности трелевки древесины канатными установками на труднодоступных территориях // *Woodworking news*. № 5–6 (113–114), май-июнь 2010 г. С. 8–9.
4. Dupire S., Bourrier F., Berger F. Predicting load path and tensile forces during cable yarding operations on steep terrain // *Journal of Forest Research*. 2016. Vol. 21, issue 1. P. 1–14.
5. Пищов С. Н., Мохов С. П., Гороновский А. Р. Обоснование параметров мобильной канатной трелевочной машины // *Труды БГТУ*. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 49–50.
6. Алышев И. Ф. Исследование сопротивления движению при трелевке лебедками ТЛ-3 полуподвесным способом: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Санкт-Петербург, 1953. 15 с.
7. Коротяев Л. В. Исследование сопротивления движению при трелевке леса: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Свердловск, 1970. 32 с.
8. Матвеев Э. Н. Динамика подъема и стопорения груза на подвесных канатных лесотранспортных установках: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Львов, 1983. 252 с.
9. Адамовский Н. Г. Оптимальные режимы нагружения несущих канатов подвесных лесотранспортных установок с учетом приведенной жесткости системы: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Львов, 1984. 296 с.
10. Белая Н. М. Теоретические и экспериментальные исследования стальных канатов подвесных лесотранспортных установок: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.01. Москва, 1967. 42 с.
11. Алябьев В. И. Исследование тяговых усилий лебедок при полуподвесной трелевке леса: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Москва, 1958. 20 с.
12. Руководство по эксплуатации датчика силы U9B [Электронный ресурс] // Официальный сайт фирмы HBM. URL: http://www.hbm.cz/Prospekty/Sila/U9B/p_U9B_e.pdf (дата обращения: 19.10.2016).
13. Тензометрические датчики силы [Электронный ресурс] // Девайс серч: [сайт]. URL: http://www.devicesearch.ru/article/datchiki_sily (дата обращения: 19.10.2016).
14. Беларусь ТТР-401 [Электронный ресурс] // Официальный сайт Минского тракторного завода. URL: <http://www.belarus-tractor.com/catalog/forest-machines/belarus-ttr-401m/> (дата обращения: 19.10.2016).
15. Матвейко А. П., Федоренчик А. С. Технология и машины лесосечных работ: учеб. для вузов. Минск: Технопринт, 2002. 480 с.
16. Кусакин Н. Ф., Минаков И. Ф., Носиков А. А. Стальные канаты на лесозаготовках. М.: Лесная промышленность, 1982. 136 с.
17. Некрасов Р. М. Монтаж оборудования на лесосеке. М.: Лесная промышленность, 1964. 214 с.

References

1. *Lesnoy fond* [Forest fund]. Available at: <http://www.mlh.by/ru/forestry/resources.html> (accessed: 19.10.2016).
2. Khodosovsky M. V. *Issledovanie prokhdimosti khlystov pri polupodvesnoy trelevke lebedkami: dis. ... kand. takhn. nauk* [Research stems patency at high lead yarding winches: dissertation PhD (Engineering)]. Minsk, 1968. 276 p.
3. Features timber yarding cable yarders in remote areas. *Woodworking news magazine*, no. 5–6 (113–114), May-June 2010, pp. 8–9 (In Russian).
4. Dupire S., Bourrier F., Berger F. Predicting load path and tensile forces during cable yarding operations on steep terrain. *Journal of Forest Research*, 2016, vol. 21, issue 1, pp. 1–14.
5. Pishchov S. N., Mokhov S. P., Goronovskiy A. R. Justification parameters of mobile cable yarder. *Trudy BGTU* [Proceedings BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking industry, pp. 49–50 (In Russian).
6. Alyshev J. F. *Issledovanie soprotivleniya dvizheniyu pri trelevke lebedkami TL-3 polupodvesnym sposobom: avtoref. ... dis. kand. tekhn. nauk* [Resistance movement study yarding winch TL-3 semi-overhead way: abstract of thesis PhD (Engineering)]. St. Petersburg, 1953. 15 p.
7. Korotyaev L. V. *Issledovanie soprotivleniya dvizheniyu pri trelevke lesa: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Study of the resistance movement at the timber yarding: abstract of thesis PhD (Engineering)]. Sverdlovsk, 1970. 32 p.
8. Matveev E. N. *Dinamika pod'yema i stoporeniya gruzha na podvesnykh kanatnykh lesotransportnykh ustanovkakh: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Dynamics lifting and locking the load on pendant rope highlead yarders: dissertation PhD (Engineering)]. Lvov, 1983. 252 p.

9. Adamovskiy N. G. *Optimal'nye rezhimy nagruzheniya nesushchikh kanatov podvesnykh lesotransportnykh ustanovok s uchetom privedennoy zhestkosti sistemy: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Optimal loading regimes carrying ropes suspended lesotransport installations taking into account the reduced stiffness of the system: dissertation PhD (Engineering)]. Lvov, 1984. 296 p.
10. Belaya N. M. *Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya stalnykh kanatov podvesnykh lesotransportnykh ustanovok: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Theoretical and experimental investigation of steel ropes suspended highlead yarders: abstract of thesis DSc (Engineering)]. Moscow, 1967. 42 p.
11. Alyab'yev V. I. *Issledovanie tyagovykh usily lebedok pri polupodvesnoy trelevke lesa: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Study of traction winches with highlead yarding: abstract of thesis PhD (Engineering)]. Moscow, 1958. 20 p.
12. Manual of U9B force sensor. The official website of the company HBM. Available at: http://www.hbm.cz/Prospekty/Sila/U9B/p_U9B_e.pdf (accessed: 10.19.2016).
13. Strain gauge force sensors. Device search. Available at: http://www.devicesearch.ru/article/datchiki_sily (accessed: 10.19.2016).
14. Belarus TTR-401. The official website of the Minsk Tractor Factory. Available at: <http://www.belarus-tractor.com/catalog/forest-machines/belarus-ttr-401m/> (accessed: 10.19.2016).
15. Matveiko A. P., Fedorenchik A. S. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and machines of logging activities]. Minsk, Tehnoprint Publ., 2002. 480 p.
16. Kusakin N. F., Minakov J. F., Nosikov A. A. *Stal'nye kanaty na lesozagotovkakh* [Steel ropes in logging]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 136 p.
17. Nekrasov R. M. *Montazh oborudovaniya na lesoseke* [Setup of equipment on the cutting area]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1964. 214 p.

Информация об авторах

Шошин Артем Олегович – аспирант кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: raul777gol@mail.ru, shoshyn@belstu.by.

Протас Павел Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Protas77@rambler.ru.

Мохов Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой лесных машин и технологии лесозаготовок. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Imitlz@belstu.by

Арико Сергей Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sergeyariko@mail.ru.

Information about the authors

Shoshin Artem Olegovich – PhD student, Department of Forestry Machinery and Logging Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: raul777gol@mail.ru, shoshyn@belstu.by.

Protas Pavel Alexandrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor of the Department of Forestry Machinery and Logging Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Protas77@rambler.ru.

Mokhov Sergey Petrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Forestry Machinery and Logging Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Imitlz@belstu.by.

Ariko Sergey Yevgen'evich – PhD (Engineering), Assistant Professor of the Department of Forestry Machinery and Logging Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sergeyariko@mail.ru.

Поступила 10.11.2016