

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРЕЛЕВКИ ХЛЫСТОВ НА ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛЕСОСЕКАХ КАНАТНЫМИ УСТАНОВКАМИ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД**

**Шошин А. О.<sup>1</sup>, асп., Протас П. А.<sup>1</sup>, доц., к.т.н.,**

**Мохов С. П.<sup>1</sup>, доц., к.т.н., Гречко В. В.<sup>2</sup>, директор**

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет  
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: [shoshyn@belstu.by](mailto:shoshyn@belstu.by), [protas77@rambler.ru](mailto:protas77@rambler.ru)

<sup>2</sup>ЧУП «Белросалдер»

(Минск, Республика Беларусь), e-mail: [alteros15@gmail.com](mailto:alteros15@gmail.com)

**STUDY OF THE CABLE CRANE TREE-SKIDDING PROCESS ON SWAMPY LOGGING SITES IN THE WINTER SEASON**

**Shoshyn A. O.<sup>1</sup>, PhD student, Protas P. A.<sup>1</sup>, Assoc. Prof., PhD,**

**Mokhov S. P.<sup>1</sup>, Assoc. Prof., PhD, Grechko V. V.<sup>2</sup>, director**

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University  
(Minsk, Republic of Belarus)

<sup>2</sup>Private unitary enterprise «Belrosalder»  
(Minsk, Republic of Belarus)

At the moment, for a number of logging enterprises in the country, the issue of the full development of the allowable cutting area due to the presence of significant wetlands is quite acute. Annually, from 2003 to 2016 [1], the share of hard-to-reach forest fund is at least 10% of the total volume of the estimated cutting area for main use and is in the range of 12-18%. In recent years, their share is kept at the level of 12-13%, the absolute volume of timber in the hard-to-reach forest fund is at the turn of 1.4 million m<sup>3</sup>.

**Введение.** В Республике Беларусь на оказании лесозаготовительных услуг лесхозам для разработки труднодоступного лесфонда с применением специальных лесных машин работает мобильная канатная трелевочная установка Larix 3Т в единичном экземпляре. Она используется с 2010 года и за этот период работала в Старобинском, Суражском, Бобруйском и Узденском лесхозах. На сегодняшний день установка функционирует в Березинском биосферном заповеднике. При этом данный вид лесной техники не получил широкого применения в нашей стране, и поэтому различные аспекты ее применения в условиях заболоченного лесфонда мало исследованы и не в полной мере освещены в научной литературе.

**Основная часть.** Цель исследований – получение практических данных о работе мобильных канатных трелевочных установок в условиях зимнего заболоченного лесфонда, получение опытных показателей для выработки рациональной технологии заготовки древесного сырья. Предмет исследования – процесс первичного транспорта хлыстов мобильной канатной установкой.

Экспериментальные наблюдения за мобильной канатной трелевочной установкой Larix 3Т проводились в зимнее время в декабре 2016 года в ГПУ «Березинский биосферный заповедник», в 16 выделе 83 квартала Барсуковского лесничества. Средняя температура за период наблюдений колебалась от –3 до –6°С. Вид пользования – главное, вид рубки – сплошная, сплошнолесосечная. Площадь лесосеки 7,7 га. По лесорубочному билету объем деловой древесины 1954 м<sup>3</sup>, дровяной 402 м<sup>3</sup>. Средний запас на 1 га – 298 м<sup>3</sup>. Средний объем хлыста – 0,49 м<sup>3</sup>. Состав – 9ОЛч1Б+Е. Тип условий местопроизрастания – А<sub>4</sub>. В качестве исследуемого участка выбрана делянка со средней длиной сторон 445 м и 160 м. Наблюдения за работой установки проводились при среднем расстоянии трелевки 400 м.

Экспериментальные исследования представляли собой хронометраж процесса первичного транспорта хлыстов исследуемой установки. При этом при проведении данных ис-

следований подтрелевка (рисунок 1, *а*) и трелевка (рисунок 1, *б*) были объединены в единый процесс – рабочий ход.

Известно, что процесс подтрелевки считается наиболее трудоемкой операцией по степени динамической нагрузки на тяговый канат [2], поэтому ей было уделено отдельное внимание. Так, было отмечено, что осуществление этой операции не представляет собой приближенно непрерывный процесс, как, например, холостой ход или трелевка, а состоит из кратковременных дискретных включений-выключений тягового каната («поигрываний»). Чокеровщик визуально анализирует предстоящие для трелеваемого лесоматериала препятствия и, исходя из своего опыта, осуществляет управление процессом перемещения с помощью пульта. Это делается для безопасного прохождения лесоматериалов через препятствия на пасеке (пни, ветви, сучья, микронеровности рельефа, лежащие лесоматериалы и др.). На цикл подтрелевки оказывают влияние лесорастительные факторы и опыт работы чокеровщика. Лесорастительные факторы в первую очередь определяются наличием высоких пней (рисунок 2), стоящих на корневых лапах (в отдельных случаях шейка корня может находиться на высоте до 1,5 м) [3].



*а*



*б*

**Рисунок 1 – Выполнение рабочего хода:**

*а* – подтрелевка, *б* – трелевка

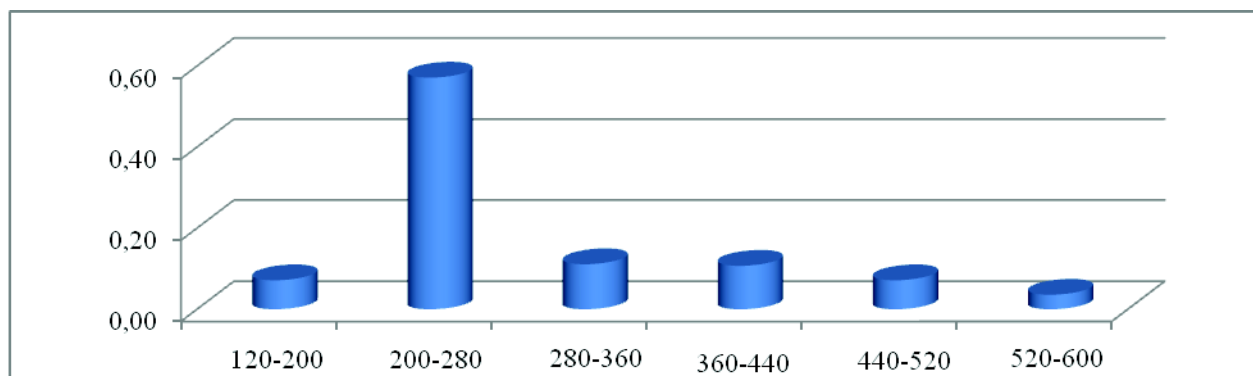


**Рисунок 2 – Характерный вид заболоченной лесосеки**

**Исследования рабочего хода.** При исследовании процесса рабочего хода кроме изучения самого цикла производился также анализ характерных возникающих производственных ситуаций. Полученные в результате хронометража рабочего хода данные обрабатывались методами математической статистики [4, 5]. Для исследуемой операции по выборке случайных величин был сформирован интервальный статистический ряд наблюдаемых значений времени и построены диаграммы относительных частот (рисунок 3) с одинаковыми длинами интервалов. Количество интервалов  $k$  определялось по формуле (1) [4, 5] и составило 6:

$$k = 1 + 3,21 \cdot \lg n, \quad (1)$$

где  $n$  – объем выборки.



**Рисунок 3 – Диаграмма распределения случайной величины при выделении интервалов одинаковой длины**

Диаграмма представляет собой отображение вероятности появления случайной величины из заданных диапазонов с одним ярко выраженным преобладающим интервалом значений [200, 280) секунд. Для данного интервала относительная частота составляет 0,58. Это значение наибольшее из всех, полученных в результате хронометража, и позволяет заключить о преобладании значений случайной величины из данного интервала над остальными. Предварительно можно предположить, что значения этого интервала являются «нормальными». Однако для точного определения «нормальности» конкретного диапазона значений выборки, определения аномальных отклонений и выделения закономерностей процесса рабочего хода для возможной его классификации по типам был определен доверительный интервал для математического ожидания случайной величины по формуле (2) [4, 5]. Для его нахождения рассчитаны среднее арифметическое и несмещенная оценка дисперсии для группированного статистического ряда (3) [4, 5]. При расчете задавались следующими данными: доверительная вероятность – 0,95; количество степеней свободы – 27; коэффициент Стьюдента для заданных условий – 2,0484 [4].

$$\bar{y} - \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}} \leq M_y \leq \bar{y} + \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

где  $\bar{y}$  – среднее арифметическое;  $t$  – коэффициент Стьюдента;  $s$  – несмещенная оценка дисперсии;  $n$  – объем выборки;  $M_y$  – математическое ожидание случайной величины.

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k (y_i^* - \bar{y})^2 \cdot n_i^*, \quad (3)$$

где  $y_i^*$  – середина  $i$  – ого интервала;  $n_i^*$  – относительная частота появления значения середины  $i$  – ого интервала.

Рассчитанный доверительный интервал составил  $204 \leq M_y \leq 288$ . Таким образом, с вероятностью 95 % можно сделать вывод о том, что случайная величина должна покрывать интервал между доверительными пределами 204 и 288 секунд. Очевидно, что значения случайной величины для интервала [200; 280) полностью пересекаются со значениями доверительного интервала, который еще незначительно пересекается с интервалом [280; 360) секунд. Вышесказанное позволяет сделать вывод, что значения интервала [200; 280) секунд и частично [280; 360) секунд соответствует ритмичному режиму работы. Это же подтверждается визуальными наблюдениями процесса трелевки в натуральных условиях и укрупненным теоретическим расчетом. Интервальный ряд со значениями [120; 200) секунд принимает значения меньшие, чем при «нормальных» интервалах, что в подавляющем большинстве случаев связано с «идеальными» условиями работы (рабочий ход без подтрелевки, отсутствие пней на

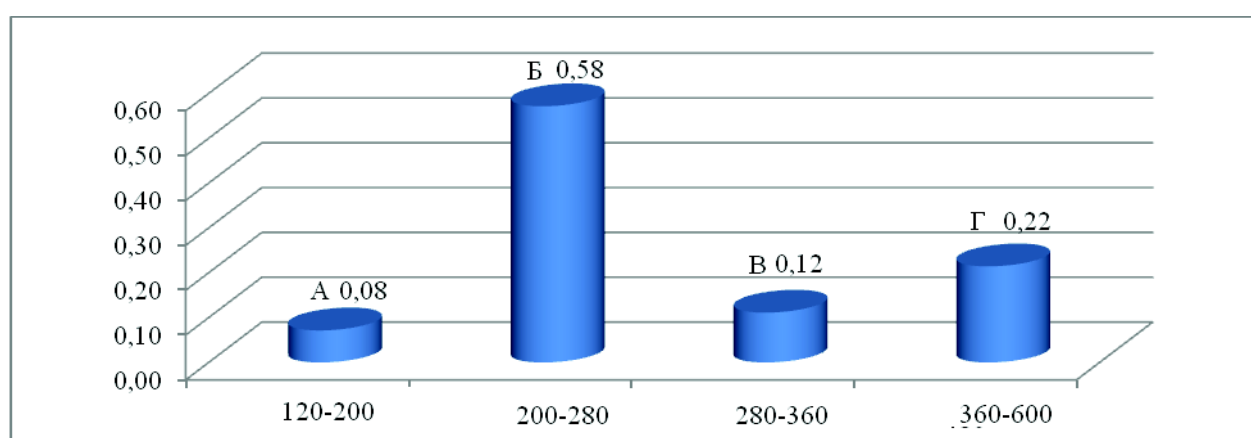


пути при небольшом расстоянии подтрелевки и др.). В то же время приближенная нормальность третьего интервала объясняется наличием незначительных задержек на редкие перечонокровки и прерывистую подтрелевку. В отличие от первых трех интервалов, значения для остальных трех можно отнести к аномальным и их источники необходимо установить. Это может быть вызвано целым рядом причин, в том числе нарушением технологии работы, низкой квалификацией рабочих, сложными лесорастительными условиями и т.д.

Выполненные натурные наблюдения показали:

- при выполнении операции трелевки отсутствовали явные сдерживающие факторы;
- абсолютное большинство случаев задержек при выполнении рабочего хода было связано с подтрелевкой.

Фактические причины заключались в невозможности и аварийной опасности преодоления естественных препятствий, в основном пней и естественных промежуточных опор. Для полной наглядности 3 аномальных интервала были объединены в один и отображены на отдельной диаграмме на рисунке 4. Над каждым из интервалов отображена относительная частота появления случайной величины для данного интервала.



**Рисунок 4 – Диаграмма распределения случайной величины при выделении отдельного «нехарактерного» интервала**

Для каждого интервала были определены основные специфические особенности работы, выделены группы А-Б-В-Г (таблица 1). Характеристики каждой группы были сформулированы на основе визуальных наблюдений за процессом трелевки и данных хронометража.

В качестве небольших препятствий, приведенных в таблице 1, были определены измельченные сучья и ветви, частично выступающие из почвы корни, микронеровности рельефа и др. Труднопреодолимые препятствия – лежащие лесоматериалы, неизмельченные сучья и ветви, пни, корневые лапы и др. Основным природным препятствием являются высокие пни, стоящие на корневых лапах. Важно понимать, что приведенное разделение на группы в большинстве случаев, однако не всегда связано только лишь с расстоянием подтрелевки. Так, например, процесс перехода от подтрелевки к трелевке (поворот пачки), сопровождающийся трением пачки о запасную/основную промежуточную опору для несущего каната, может наблюдаться при любом расстоянии подтрелевки, однако при этом далеко не всегда наблюдается опасность аварийной ситуации (излом естественной опоры). Для предотвращения таких случаев выполняются дополнительные операции: расслабление тягового каната, прогон каретки по направлению рабочего хода, трелевка пачки волоком до момента выведения из контакта пачки и естественной опоры. Увеличение расстояния подтрелевки и ухудшение процесса транспорта к несущему канату напрямую связаны с увеличением вероятности встречи предмета труда с природными препятствиями.

**Таблица 1 – Характеристика процесса рабочего хода для каждой группы**

Интервалы	Характеристика
А	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Подтрелевка пачек, находящихся в большинстве случаев под несущим канатом, максимальное расстояние подтрелевки до 10 м.</li> <li>– Часто объем пачки меньше рейсовой нагрузки (0,5-0,7 от <math>V_n</math>), вследствие этого скорость рабочего хода увеличена.</li> <li>– Безпрепятственная подтрелевка без перечоковок.</li> <li>– Режим движения пачки при выполнении рабочего хода приближается к непрерывному.</li> <li>– Трение пачки об опору без выполнения дополнительных операций.</li> </ul>
Б	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Среднее расстояние подтрелевки 10-60 м.</li> <li>– Подтрелевка без труднопреодолимых препятствий, присутствуют небольшие препятствия. Без перечоковок.</li> <li>– Трение пачки об опору без выполнения дополнительных операций.</li> </ul>
В	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Среднее расстояние подтрелевки 30-60 м.</li> <li>– Постоянные небольшие препятствия, в редких случаях труднопреодолимые.</li> <li>– До 1 перечоковки.</li> <li>– Трение пачки об опору без выполнения дополнительных операций.</li> </ul>
Г	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Подтрелевка пачек, находящихся у дальнего конца полупасеки, среднее расстояние подтрелевки 30-60 м.</li> <li>– Многократные небольшие и труднопреодолимые препятствия за рейс, от 1 и более перечоковок.</li> <li>– Трение пачки об опору с выполнением дополнительных операций.</li> </ul>

Как показывает сопоставление диаграммы (рисунок 4) и данных таблицы 1, около 22 % (интервал Г) времени на рабочий ход выполняется со значительным увеличением времени цикла ввиду лесорастительных особенностей труднодоступного фонда страны и особенностей технологии разработки лесосек. Это составляет около четверти эффективного времени работы и оказывает весьма значительное влияние на производительность установки. Основными причинами, сдерживающими увеличение времени на рабочий ход, являются пни, сидящие на корневых лапах, и зацепы пачки за промежуточные опоры. Поэтому для совершенствования процесса первичного транспорта древесины на заболоченных лесосеках необходима разработка технологии и подбор канатных установок для ведения лесозаготовительных работ с учетом вышеуказанных сдерживающих факторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Постановления Совета Министров РБ «О размере лесосечного фонда на и объемах реализации древесины на корню из лесосечного фонда по таксовой стоимости» за 2003-2016 гг.
2. Белая Н. М. Теоретические и экспериментальные исследования стальных канатов подвесных лесотранспортных установок: автореферат ... докт. техн. наук: 05.21.01 / Н. М. Белая – Москва, 1967 – 42 с.
3. Федоренчик А. С. Технология разработки черноольховых лесосек порослевого происхождения / А. С. Федоренчик, Г. И. Завойских, В. Ф. Шамаль. / Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Технология и оборудование заготовки и переработки древесины. Минск: Вышэйшая школа, 1989 – 16-21 с.
4. Марченко В. М. Высшая математика. В 2 ч. Ч. 2 : учеб. пособие для студентов учреждений высшего образования по техническим специальностям / В. М. Марченко [и др.]; под ред. В. М. Марченко. – Минск: БГТУ, 2014. – 337 с.
5. Пижурин А. А. Исследования процессов деревообработки / А. А. Пижурин, М. С. Розенблит. – М.: Лесная промышленность, 1984. – 232 с.