

УДК 630*377.2

А. О. Шошин

Белорусский государственный технологический университет

**СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
КАНАТНОЙ УСТАНОВКИ МТК-431 И ТРЕЛЕВОЧНОГО ТРАКТОРА ТТР-401
ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛЕСОСЕК**

Для сравнения применялись основные технико-экономические и экологические показатели: производительность труда, удельные эксплуатационные затраты, удельные капитальные вложения и доля площади лесосеки, повреждаемая в результате воздействия лесной техники. Сравнение проводилось при выполнении сплошной рубки главного пользования для лесосеки размером 200×200 м. Средний состав принимался 7Олч1С1Б1Ос, средняя плотность свежесрубленной древесины – $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$, средний годовой объем труднодоступного лесфонда в Республике Беларусь – 1,3 млн м^3 , ширина пасечного волока и трелевочного коридора – 5 м. Результат сравнения показал, что применение мобильной канатной трелевочной установки МТК-431 является эффективным по комплексу показателей: удельные капитальные вложения и площадь лесосеки, повреждаемая при трелевке древесины.

Ключевые слова: анализ, производительность, затраты, поврежденная лесная площадь.

Для цитирования: Шошин А. О. Сравнение эффективности применения мобильной канатной трелевочной установки МТК-431 и трелевочного трактора ТТР-401 при разработке заболоченных лесосек // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 1 (252). С. 165–173.

А. О. Shoshyn

Belarusian State Technological University

**COMPARISON OF THE EFFICIENCY OF CABLE YARDING SYSTEM MTK-431
AND THE SKIDDER TTR-401 IN THE DEVELOPMENT
OF WATERLOGGED FOREST AREAS**

The comparison was carried out when performing final felling for a cutting area of 200·200 m. The average composition was taken as 7Олч1С1Б1Ос, the average density of freshly cut wood was $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$, the average annual volume of the hard-to-reach forest fund in the Republic of Belarus was 1.3 million m^3 , the width of the apiary trail and skidding corridor was 5 m. The result of the comparison showed that the use of the yarder MTK-431 is effective in terms of a set of indicators: specific capital investments and the area of the cutting area damaged by yarding wood.

Key words: analysis, productivity, operating cost, damaged forest area.

For citation: Shoshyn A. O. Comparison of the efficiency of cable yarding system MTK-431 and the skidder TTR-401 in the development of waterlogged forest areas. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2022, no 2 (252), pp. 165–173 (In Russian).

Введение. На современном этапе развития лесного комплекса страны достаточно бурными темпами идет наращивание производственных мощностей как на лесосечных работах, так и на переработке древесного сырья. При этом фаза лесосечных работ, которая подразумевает непосредственную заготовку древесного сырья, классически остается зависимой от многих факторов: ярко выраженная сезонность работ, рельеф местности, почвенно-грунтовые условия и др. Наиболее серьезной задачей для многих лесозаготовительных предприятий является разработка заболоченного лесного фонда. Лесной комплекс страны на данный момент при ведении лесозаготовок в таких тяжелых условиях располагает трелевочными тракторами с канатно-чокерной оснасткой ТТР-401. Однако данный вид техники, выполненный на базе

колесного трактора с установленным на нем технологическим оборудованием, не позволяет обеспечить заготовку всей древесины на труднодоступных лесосеках. В качестве технического решения для более полного освоения труднодоступного лесфонда целесообразно применение мобильных канатных трелевочных установок. С этой целью Минским тракторным заводом была создана мобильная канатная трелевочная установка МТК-431 [1].

На данный момент существует большое количество исследований, в которых была проведена оценка применения различных типов машин и оборудования для разработки заболоченных территорий [2–5]. Но в то же время нет сведений о сравнении их работы с канатными трелевочными установками с точки зрения эксплуатационной,

экономической и экологической эффективности. Известно, что применение канатных трелевочных установок в Европе сопряжено с увеличением экономических затрат на заготовку по сравнению с наиболее применяемыми системами машин: харвестер – форвардер, бензиномоторная пила – трелевочный трактор, бензиномоторная пила – погрузочно-транспортная машина [6, 7]. В данных исследованиях проводилось сравнение работы приведенных систем машин в горной местности.

Для оценки потенциала возможности использования установки МТК-431 выполнено сравнение эффективности с трелевочным трактором ТТР-401. Обе машины выпускаются на Минском тракторном заводе.

Основная часть. Сравнение эффективности трелевочного трактора ТТР-401 (рис. 1, а) и канатной установки МТК-431 (рис. 1, б) выполнялось для операции трелевки хлыстов от места формирования пачки на лесосеке до верхнего склада (с получением на нем сортиментов) в соответствии с методиками [8–11].

Сравнительный анализ двух вариантов исследуемых машин проводился путем определения основных показателей:

- производительность труда – $P_{ч-д}$, м³/чел.-день;
- удельные эксплуатационные затраты – $\Xi_{уд}$, руб/м³;
- удельные капитальные вложения – $K_{уд}$, руб/м³;
- доля площади лесосеки, повреждаемая в результате воздействия лесной техники – W , %.

В исследованиях учитывалось, что сравниваемые машины работают в одинаковых условиях заболоченной лесосеки при проведении сплошных рубок главного пользования. В расчетах приняты следующие исходные данные: средний объем хлыста спелых насаждений – 0,5 м³, средняя высота дерева – 20 м, состав насаждений – 7Олч1С1Б1Ос, размеры лесосеки 200×200 м,

средняя плотность свежесрубленной древесины – $\rho = 800$ кг/м³ [12], средний годовой объем труднодоступного лесфонда в Республике Беларусь – 1,3 млн м³, ширина пасечного волока – 5 м (при трелевке трелевочными трактором ТТР-401), ширина трелевочного коридора – 5 м (временный транспортный путь на лесосеке для канатной установки).

С целью более точного анализа эффективности операции трелевки другие операции, выполняемые на лесосеке, не рассматривались.

Для определения среднего расстояния трелевки для обоих вариантов зададимся параллельной схемой разработки лесосеки со сторонами a (ширина) и b (длина). При этом технология разработки лесосеки будет отличаться. При заготовке древесины с использованием трелевочного трактора ТТР-401 древесина с каждой пачки перемещается по пасечному трелевочному волоку и далее по магистральному к верхнему складу (рис. 2). При этом учитывалось, что в наиболее сложных производственных условиях при низкой проходимости трелевочный трактор расслабляет тяговый канат (без расчокерки пачки), перемещается без пачки на определенное расстояние и уже с более выгодной рабочей позиции осуществляет подтягивание пачки.

В таком случае формула для определения среднего расстояния трелевки $S_{тт}$ имеет вид [8–11]

$$S_{тт} = (k_1 \cdot a + k_2 \cdot b) \cdot k_{0тт}, \quad (1)$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты, зависящие от схемы расположения трелевочных волоков (для параллельной схемы 0,50 и 0,25 соответственно); $k_{0тт}$ – коэффициент удлинения трелевочных волоков, зависящий в основном от рельефа местности, пониженных заболоченных участков и т. д; a – средняя ширина отводимых в рубку лесосек, м; b – средняя длина отводимых в рубку лесосек, м.



Рис. 1. Исследуемые машины:
а – ТТР-401; б – МТК-431

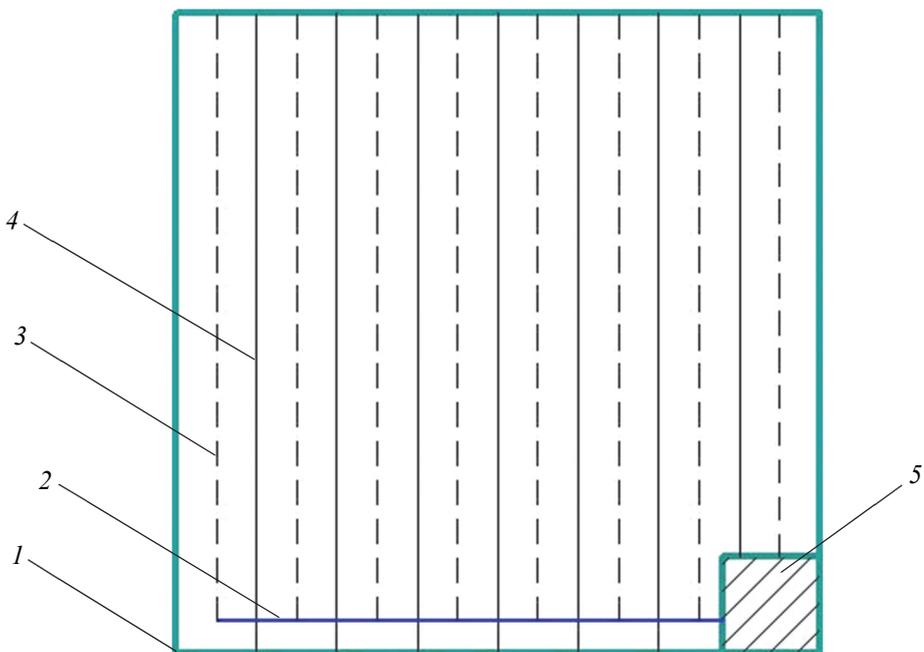


Рис. 2. Схема разбивки лесосеки на технологические элементы при разработке ее с использованием трелевочного трактора ТТР-401: 1 – граница лесосеки; 2 – магистральный волок; 3 – пасечный волок; 4 – граница пасеки; 5 – верхний склад

Коэффициент $k_{отг}$ для трелевочных тракторов принимаем равным 1,3, ввиду сложных условий работы, увеличения пути при объездах пней и других препятствий.

В свою очередь канатная установка МТК-431 ведет заготовку широким фронтом: на каждой пасеке формируется верхний склад (рис. 3).

Фактически верхний склад (обозначен на рисунке штриховкой) располагается вдоль всей лесосеки, и его длина равна длине всей лесосеки b . Валка деревьев будет выполняться под прямым или острым углом по отношению к несущему канату в сторону верхнего склада. После чокеровки сразу будет начинаться операция трелевки.

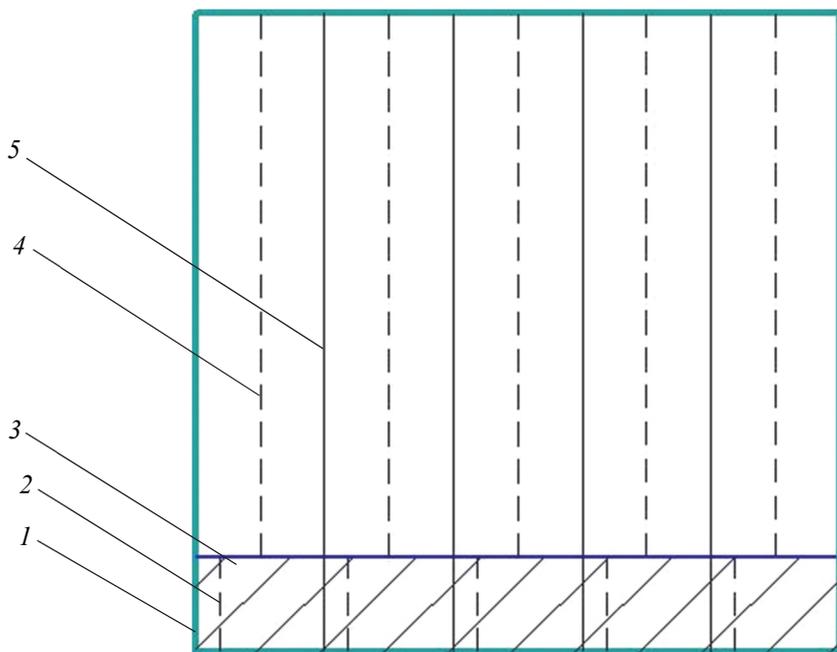


Рис. 3. Схема разбивки лесосеки на технологические элементы при разработке ее с использованием канатной трелевочной установки МТК-431: 1 – граница лесосеки; 2 – трелевочный волок на верхнем складе; 3 – верхний склад; 4 – трелевочный коридор; 5 – граница пасеки

Для канатной установки МТК-431 среднее расстояние трелевки $S_{ку}$ определяется как половина ширины пасаки с учетом коэффициента $k_{0ку}$ [11]:

$$S_{ку} = \frac{b}{2} \cdot k_{0ку}, \quad (2)$$

где $k_{0ку}$ – для канатных установок принимается в промежутке от 1,05 до 1,15.

Коэффициент $k_{0ку}$ для канатной установки принимаем 1,05. Выбор минимального значения для данного показателя обусловлен отсутствием сильно пересеченной, холмистой местности, с переломами трассы установки в профиле и в плане.

Ширину пасаки при работе ТТР-401 находим по формуле [8, 11]

$$b_{п} = 2 \cdot H \cdot \sin \alpha + b_{в}, \quad (3)$$

где H – средняя высота древостоя на делянке, м; α – угол между волоком и поваленными деревьями (30°); $b_{в}$ – ширина волока, м.

Конструкция МТК-431 позволяет реализовать операцию подтрелевки только на части длины пасаки, в таком случае пасака будет принимать форму параллелограмма, что не позволит адекватно сравнить два трелевочных средства. Поэтому для канатной установки была выбрана максимальная ширина пасаки, обеспечивающая одинаковую ширину по всей ее длине – 40 м без подтрелевки.

Исходные данные для исследования представлены в табл. 1.

Так как обе системы применяются при сравнительно небольшой ширине пасаки, то скорость

подтрелевки принимаем равной скорости рабочего хода.

Производительность трелевочного трактора ТТР-401 $\Pi_{см1}$ определяем по формуле [8, 9]

$$\Pi_{см1} = \frac{(T - t_{п-3}) \cdot \phi_1 \cdot V_{п}}{t_{рх} + t_{хх} + t_{пр} + t_o} = \frac{(T - t_{п-3}) \cdot \phi_1 \cdot V_{п}}{\frac{S_{тр}}{v_p} + \frac{S_{тр}}{v_x} + t_{пр} + t_o}, \quad (4)$$

где T – продолжительность смены (8 ч, или 28 800 с); $t_{п-3}$ – время на подготовительно-заключительные операции ($t_{п-3} = 2400$ с); ϕ_1 – коэффициент использования рабочего времени (0,85); $V_{п}$ – средний объем пачки, м³; v_p , v_x – средняя скорость движения машины соответственно с грузом и без груза, м/с; $t_{пр}$ – время на чокоровку деревьев (хлыстов) и формирование пачки, с; t_o – время на отцепку пачки и чокоровку на погрузочном пункте и выравнивание комлей, с.

Время прицепки $t_{пр}$, с, и отцепки t_o , с, принимаем одинаковым для ТТР-401 и МТК-431 и определяем по формулам из [8, 9]:

$$t_{пр} = \left(2 + 0,08 \cdot l + \frac{0,8 \cdot V_{п}}{n \cdot V_{хл}} + \frac{2 \cdot V_{п}}{n} \right) \cdot 60; \quad (5)$$

$$t_o = \left(0,6 + \frac{0,06 \cdot V_{п}}{V_{хл}} + 0,5 \cdot V_{п} \right) \cdot 60, \quad (6)$$

где l – среднее расстояние подачи тягового каната от трактора к месту чокоровки хлыстов, с; $V_{хл}$ – средний объем хлыста, м³; n – количество рабочих, участвующих в чокоровке хлыстов.

Таблица 1

Исходные данные для сравнения канатной установки с трелевочным трактором

Параметр	ТТР-401М-06	МТК-431
Масса, кг	5280	6500
Трелевочное оборудование	Трелевочное приспособление ПТ-50, щит	3-барабанная лебедка, щит, мачта
Максимальное в тяговом канате усилие, кН	50	20
Длина несущего каната, м	–	220
Длина тягового каната, м	70	220
Длина возвратного каната, м	–	440
Количество мест под чокоеры	6	5
Средний объем хлыста, м ³	0,5	
Объем пачки исходя из максимального количества чокоеров и среднего объема хлыста, м ³	3	2,5
Среднее расстояние трелевки, м	195	105
Ширина пасаки, м	25	40
Скорость рабочего хода, м/с	0,5	0,4
Скорость холостого хода, м/с	1	0,8
Вид трелеваемой древесины	хлысты	

Формула сменной производительности для канатных установок с неподвижным несущим канатом (Standing skyline) $\Pi_{см2}$:

$$\begin{aligned} \Pi_{см2} &= \frac{(T - t_{п-3}) \cdot V_{п} \cdot \varphi}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5} = \\ &= \frac{(T - t_{п3}) \cdot V_{п} \cdot \varphi}{t_{пр} + \frac{S_{под}}{v_{под}} + \frac{S_{ку}}{v_{рх}} + t_0 + \frac{S_{ку}}{v_{хх}}}, \end{aligned} \quad (7)$$

где T – продолжительность смены; $t_{п-3}$ – время на подготовительно-заключительные работы; $V_{п}$ – объем пачки, м³; φ – коэффициент использования рабочего времени; t_1 – чокеровка лесоматериалов, включающая ручную подножку тягового каната и отход чокеровщика на безопасное расстояние (принимается равной времени на прицепку, как для трелевочного трактора ТТР-401); t_2 – время на подтрелевку к несущему канату; t_3 – время на трелевку вдоль несущего каната (рабочий ход); t_4 – время на разгрузку пачки (принимается равным времени на отцепку пачки, как для трелевочного трактора ТТР-401); t_5 – время на холостой ход; $v_{под}$ – скорость подтрелевки, м/с; $S_{ку}$ – среднее расстояние трелевки, м; $S_{под}$ – среднее расстояние подтрелевки, м;

Списочную потребность в машинах n_m , шт., по обоим вариантам для выполнения установленного годового объема работ по стране определим по формуле [12]

$$n_m = \frac{Q_{г}}{\Pi_{см} \cdot T}, \quad (8)$$

где $Q_{г}$ – годовой (сезонный) объем производства, м³; $\Pi_{см}$ – сменная производительность машины, м³; T – время работы одной списочной машины в год (сезон), маш.-смен.

Величину T определяем по формуле [12]:

$$T = D_p \cdot K_{см} \cdot K_{т.г} \cdot K_{о.р} \cdot K_p \cdot \frac{1}{K_n} \cdot K_{прим}, \quad (9)$$

где D_p – число рабочих дней в году (сезоне); при 6-дневной рабочей неделе число рабочих дней в году равно 285, при 5-дневной рабочей неделе – 260; $K_{см}$ – коэффициент сменности работы машины, принимаем равным 1; $K_{т.г}$ – коэффициент технической готовности, для трелевочных машин принимаем равным 0,85; $K_{о.р}$ – коэффициент использования машины на основных лесосечных работах, принимаем равным 1; K_p – коэффициент резерва машин, для трелевочных машин принимаем равным 0,9; K_n – коэффициент неравномерности работы предприятия в течение года: зависит от типа лесной дороги и времени года; для обоих вариантов принимаем 1,15; $K_{прим}$ – коэффициент применимости, зависящий от погодных условий и возможности перемещения лесной техники по лесосеке

(фактически характеризует физическую возможность нахождения лесной машины на лесосеке). Канатные установки могут применяться без ограничений круглый год, применение трелевочных тракторов ограничено проходимостью транспортных средств по лесным почвам. Ориентировочно, с учетом среднего количества сухих летних и морозных зимних рабочих дней принимаем для ТТР-401 $K_{прим} = 0,3$, для канатной установки принимаем $K_{прим} = 1$.

Количество машино-смен работы в год определяем по формуле [11]

$$n_{м-с}^г = \frac{Q_{г}}{\Pi_{см}}. \quad (10)$$

Количество машино-смен работы в сутки определяем по формуле [11]

$$n_{м-с}^{сут} = \frac{Q_{г}}{\Pi_{см} \cdot D_p}. \quad (11)$$

Сравнение двух машин проводилось по трем технико-экономическим показателям: производительность труда, удельные эксплуатационные затраты, удельные капиталовложения.

Производительность труда определяется по формуле [11]

$$\Pi_{ч-д} = \frac{Q_{г}}{D_p \cdot \sum n_{р.с}}, \quad (12)$$

где $\sum n_{р.с}$ – число рабочих, занятых на основных лесосечных работах в сутки.

Удельные эксплуатационные затраты определяем по формуле [11]

$$\mathcal{E}_{уд} = \frac{3_{об} + C_{об}}{Q_{г}}, \quad (13)$$

где $C_{об}$ – общие затраты на содержание машин в год, руб.; $3_{об}$ – общий тарифный фонд зарплаты рабочих в год, руб.

Удельные капиталовложения руб./м³ определяем по формуле [11]

$$K_{уд} = \frac{K_{общ}}{Q_{г}}, \quad (14)$$

где $K_{общ}$ – общие капиталовложения на приобретение машин по каждому варианту, руб.

Цена с НДС трелевочного трактора – 95 150 руб., канатной установки МТК-431 – 130 000 руб. Определение балансовой стоимости машин, затраты на доставку, затраты на содержание одной машиносмены производились в соответствии с методикой [11]. Затраты на доставку ТТР-401 составили 9515 руб., МТК-431 – 13 000 руб. Тогда содержание 1 маш.-см. ТТР-401 составило 99,9 руб., МТК-431 – 136,5 руб. По вышеприведенным формулам были выполнены расчеты и полученные данные отображены в табл. 2.

Таблица 2

Промежуточные показатели

Показатель	ТТР-401	МТК-431
Годовой объем древесины на труднодоступных лесосеках, млн м ³	1,3	
количество, n_m	874	290
T , маш.-см./год одной списочной машины	52	173
$\Pi_{см}$, м ³ , одной списочной машины	28,6	25,9
$n_{м-см}^г$, маш.-см.	45 455	50 193
$n_{м-см}^{сут}$, маш.-см.	175	193
Общий тарифный фонд зарплаты рабочих в год, $Z_{об}$, тыс. руб.	941,372	1039,497
Общая стоимость машин, тыс. руб.	91477,210	41470,000
Общие затраты на содержание машин в год, $C_{об}$, тыс. руб.	4540,955	6851,345
Общая потребность в рабочих в сутки, чел.	350	386

Оценка экологического воздействия лесной техники на природные экосистемы, а именно на лесной почвогрунт, выполнялась с помощью показателя W – доли площади лесосек, повреждаемой в результате выполнения рабочего и холостого ходов переместительной операции.

Для колесного трелевочного трактора ТТР-401 воздействие на лесные почвы оказывается в зоне временных транспортных путей: пасечных и магистрального волоков и верхнего склада для ТТР-401; для канатной установки МТК-431 – по площади трелевочных коридоров и волоков, прокладываемых на верхнем складе для подъезда форвардера к штабелю сортиментов.

Однако специфика разработки лесосеки с помощью трелевочного трактора состоит в том, что вся заготовленная древесина перемещается на верхний склад, в то время как канатная установка работает широким фронтом. Фактически зона шириной 30 м вдоль лесохозяйственной дороги является одним большим верхним складом. Однако на верхнем складе канатной установки не происходит

таких многократных перемещений колесной техники, как для верхнего склада ТТР-401. Установка заезжает, монтируется, после разработки пасеки демонтируется и переезжает (фактически только 2 проезда канатной установки). Сбор сортиментов с верхнего склада канатной установки осуществляется форвардером, который перемещается только по волоку, прокладываемому с одного края верхнего склада. В таком случае общая площадь волоков для канатной установки складывается из площади волоков на пасеке и на верхнем складе, исключая площадь остальной части верхнего склада (табл. 3).

Доля площади лесосеки, повреждаемая в результате воздействия лесной техники:

$$W = \frac{A_{тп} + A_{вс}}{A_{лес}} \cdot 100\%, \quad (15)$$

где $A_{тп}$ – площадь транспортных путей, подвергающихся воздействию при заготовке на лесосеке, м²; $A_{вс}$ – площадь верхнего склада, м²; $A_{лес}$ – общая площадь лесосеки, м².

Таблица 3

Исходные данные для расчета поврежденной площади лесосеки

Показатель для одной лесосеки	ТТР-401	МТК-431
Количество пасек, шт.	8	5
Количество волоков, шт.	8	5
Длина магистрального волока, м.	130	–
Общая длина волоков с учетом магистрального, м *	1612,5	1000
Ширина трелевочных и магистрального волока, м	5	5
Размеры одного верхнего склада, м×м	30×30	
Количество верхних складов, шт.	1	5 **
Площадь волоков, м ²	8062,5	5000
Общая площадь поврежденной территории, м ²	8962,5	5000
W , %	22,4	12,5

* Для МТК-431 магистральный волок не предусматривается.

** В случае МТК-431 количество верхних складов будет равно количеству пасек, так как разработка производится широким фронтом; для ТТР-401 устраивается только один верхний склад.

Таблица 4

**Исходные данные для расчета доли площади лесосеки,
повреждаемой в результате воздействия лесной техники**

Показатель	Машина	
	ТТР-401М-06	МТК-431
П _{ч-д} , м ³ /чел.-день	14,3	13,0
К _{уд} , руб./м ³	70,4	31,9
Э _{уд} , руб./м ³	4,02	6,1
W, %	22,4	12,5

Общая площадь лесосеки

$$A_{\text{лес}} = a \cdot b, \quad (16)$$

где a , b – ширина и длина лесосеки, м.

Количество пазек на лесосеке:

$$n = \frac{b}{b_{\text{п}}}, \quad (17)$$

где $b_{\text{п}}$ – ширина пазеки, м.

Площадь трелевочных коридоров (волоков) для МТК-431

$$A_{\text{тк}} = b_{\text{тк}} \cdot a \cdot n, \quad (18)$$

здесь $b_{\text{тк}}$ – ширина трелевочного коридора КТУ с учетом верхнего склада, м (5 м).

Площадь волоков для ТТР-401

$$A_{\text{в}} = b_{\text{в}} \cdot a \cdot n, \quad (19)$$

где $b_{\text{в}}$ – ширина волока, с учетом верхнего склада, м (5 м).

Длина магистрального волока для ТТР-401

$$L = b - 70. \quad (20)$$

Полученные значения технико-экономических показателей и показателя W для обоих видов трелевочных средств сводим в табл. 4.

По данным сравнения показателей табл. 4 видно, что применение мобильной канатной трелевочной установки МТК-431 является эффективным по комплексу показателей: удельные капитальные вложения и площадь лесосеки, повреждаемая при трелевке древесины. Зарубежные исследования удельных эксплуатационных затрат показывают, что и в Европе цена на канатную трелевку древесины выше, чем при использовании трелевочных тракторов [6, 7]. Однако такие работы все равно ведутся и обеспечиваются прибылью заготовительных предприятий. По данным исследований [13–15], канатные трелевочные системы (Standing skyline) оказывают значительно меньшее по интенсивности воздействие и по площади повреждения на лесные почвы. Также практически отсутствует шумовое воздействие на лесную среду, выбросы от сжигания топлива сконцентрированы только на верхнем складе.

Доля повреждения поверхности лесосеки $W_{\text{тк}}$ для ТТР-401 приближается к верхнему пороговому значению для лесной техники на сплошных рубках главного пользования – 25% [16], при этом значение для канатной установки МТК-431 в 1,8 раза меньше, чем аналогичный показатель для ТТР-401. Заготовка древесины с помощью канатной трелевочной установки МТК-431 в большей степени позволяет сохранить природные экосистемы. К тому же при выполнении первичного транспорта с использованием установки МТК-431 воздействие на лесные почвы происходит только от перемещения лесоматериалов при их трелевке по трелевочному коридору. В случае заготовки трелевочными тракторами возможны и случаи заезда на полупасеку при сложности зацепки пачки.

Немаловажен факт удобства работы с канатной установкой МТК-431 при помощи пульта управления. Оператор может находиться на позиции вне трактора, позволяющей ему оценить процесс трелевки.

Заключение. Данная работа позволяет сделать вывод о возможном эффективном применении мобильной канатной трелевочной установки на труднодоступных лесосеках страны. Очевидно, что на каждом предприятии, у которого есть определенная доля заболоченных лесных участков, должны быть и трелевочные тракторы с канатно-чокерной оснасткой, и мобильные канатные трелевочные установки. Однако важно понимать, что первый вид техники является временной и вынужденной мерой при выполнении лесосечных работ на слабозаболоченных лесосеках, преимущественно вытянутых вдоль лесной дороги (ширина не более 20–30 м). В то же время мобильные канатные трелевочные установки должны стать именно тем решением, которое позволит значительно снизить сезонную зависимость предприятий и отрасли в целом от природно-климатических условий, экологическую защищенность лесных массивов от воздействия лесной техники. Требования к сохранению окружающей среды на лесосечных работах со временем будут только ужесточаться, и канатные установки являются одним из перспективных вариантов для реализации этих требований.

Сравнивая оба варианта по четырем факторам из табл. 4, видим, что применение трелевочного трактора более эффективно по удельным эксплуатационным затратам и производительности труда. Принимая во внимание, что МТК-431 – первая установка такого типажа производства Минского тракторного завода и в Республике Беларусь в принципе, можно с большей долей уверенности предполагать, что конструкция и технология работы будет только улучшаться до уровня наиболее совершенных установок зарубежного

производства. В таком случае в перспективе показатель «производительность труда» для мобильных канатных трелевочных установок не только сравнится, но и превысит аналогичный для трелевочных тракторов. Превышение эксплуатационных затрат для МТК-431 по сравнению с ТТР-401 вызвано более сложной и энергоемкой конструкцией, что влечет за собой оправданное увеличение количества топливно-смазочных материалов и уровня оплаты труда персонала при работе на более сложной технике.

Список литературы

1. 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.
2. Новак Л. Особенности трелевки древесины канатными установками на труднодоступных территориях // Woodworking news. 2010. № 5–6 (113–114). С. 8–9.
3. Исследование процесса трелевки хлыстов на заболоченных лесосеках канатными установками в зимний период / А. О. Шошин [и др.] // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы 1-й Междунар. науч.-техн. конф. Минск: БГТУ, 2017. С. 72–76.
4. Веселы П. Канатные дороги Ларикс на болотах // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы 1-й Междунар. науч.-техн. конф. Минск: БГТУ, 2017. С. 50–54.
5. Ходосовский М. В. Исследование проходимости хлыстов при полуподвесной трелевке лебедками: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 1968. 276 с.
6. Cable Logging Contract Rates in the Alps: the Effect of Regional Variability and Technical Constraints / R. Spinelli [et. al.] // Croat. j. for. eng. 2015. 36 (2). P. 195–202.
7. A Survey of Logging Contract Rates in the Southern European Alps / R. Spinelli [et. al.] // Small-scale Forestry. 2017. 16. P. 179–192.
8. Матвейко А. П., Федоренчик А. С. Технология и машины лесосечных работ. Минск: Технопринт, 2002. 480 с.
9. Матвейко А. П., Клоков Д. В., Протас П. А. Технология и оборудование лесозаготовительного производства. Практикум. Минск: БГТУ, 2005. 159 с.
10. Матвейко А. П. Технология и машины лесосечных работ. Минск: БГТУ, 2015. 115 с.
11. Матвейко А. П., Протас П. А. Технология и машины лесосечных работ. Минск: БГТУ, 2008. 116 с.
12. Влажность древесины различных пород. URL: <https://sushilnye-kamery.ru/blog/vlazhnost-drevesiny/kak-opredelit-vlazhnost-drevesiny-osnovnye-sposoby> (дата обращения: 08.03.2021).
13. The Effects of Different Logging Techniques on the Physical and Chemical Characteristics of Forest Soil / H. Eroğlu [et al.] // Baltic Forestry. 2016, 22 (1). P. 139–147.
14. Jang W., Page-Dumroese D. S., Keyes C. R. Long-Term Soil Changes from Forest Harvesting and Residue Management in the Northern Rocky Mountains // Soil Science Society of America Journal. 2016. 80 (3). P. 727–741.
15. Miller J. H., Sirois D. L. Soil Disturbance by Skyline Yarding vs. Skidding in a Loamy Hill Forest // Soil Science Society of America Journal. 1986. 50 (6). P. 1579–1583.
16. Устойчивое лесопользование и лесопользование. Рубки главного пользования. Требования к технологиям: СТБ 1360-2002. Введ. 09.12.2002. Минск: Госстандарт, 2002. 22 с.

References

1. 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).
2. Novak L. Features timber yarding "cable yarders in remote areas. *Woodworking news*, 2010, no. 5–6 (113–114), pp. 8–9 (In Russian).
3. Shoshyn A. O., Protas P. A., Mokhov S. P., Grechko V. V. Study of the cable crane tree-skidding process on swampy logging sites in the winter season. *Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya: materialy 1-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Logging industry: problems and solutions: materials of International scientific-technical conference]. Minsk, 2017, pp. 72–76 (In Russian).
4. Vesely P. Larix cableway in the swamp. *Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya: materialy 1-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Logging industry: problems and solutions: materials of International scientific-technical conference]. Minsk, 2017, pp. 50–54 (In Russian).

5. Khodosovsky M. V. *Issledovaniye prokhodimosti khlystov pri polupodvesnoy trelevke lebedkami. Dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk* [Research stems patency at high lead yarding winches. Dissertation PhD (Engineering)]. Minsk, 1968. 276 sh. (In Russian).
6. Spinelli R., Visser R., Thees O., Sauter U. H., Krajnc N., Riond C., Magagnotti N. Cable Logging Contract Rates in the Alps: the Effect of Regional Variability and Technical Constraints. *Croat. j. for. eng.*, 2015, 36 (2), pp. 195–202.
7. Spinelli R., Visser R., Riond C., Magagnotti N. A Survey of Logging Contract Rates in the Southern European Alps. *Small-scale Forestry*, 2017, 16, pp. 179–192.
8. Matveyko A. P., Fedorenchik A. S. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Logging technology and machines]. Minsk, Tekhnoprint Publ., 2002, 480 p. (In Russian).
9. Matveyko A. P., Klokov D. V., Protas P. A. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesozagotovitel'nogo proizvodstva. Praktikum* [Logging technology and machines]. Minsk, BGTU Publ., 2005. 159 p. (In Russian).
10. Matveyko A. P., Protas P. A. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot. Laboratornyy praktikum* [Logging technology and machines. Laboratory Workshop]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 115 p. (In Russian).
11. Matveyko A. P., Protas P. A. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Logging technology and machines]. Minsk, BGTU Publ., 2008. 116 p. (In Russian).
12. Moisture content of wood of various species. Available at: <https://sushilnye-kamery.ru/blog/vlazhnost-drevesiny/kak-opredelit-vlazhnost-drevesiny-osnovnye-sposoby/> (accessed 08.03.2021).
13. Eroğlu H., Sariyildiz T., Küçük M., Sancal E. The Effects of Different Logging Techniques on the Physical and Chemical Characteristics of Forest Soil. *Baltic Forestry*, 2016, 22 (1), pp. 139–147.
14. Jang W., Page-Dumroese D. S., Keyes C. R. Long-Term Soil Changes from Forest Harvesting and Residue Management in the Northern Rocky Mountains. *Soil Science Society of America Journal*, 2016, 80 (3), pp. 727–741.
15. Miller J. H., Sirois D. L. Soil Disturbance by Skyline Yarding vs. Skidding in a Loamy Hill Forest. *Soil Science Society of America Journal*, 1986, 50 (6), pp. 1579–1583.
16. STB 1360-2002. Sustainable forest management and forest use. Main felling. Technology requirements. Minsk, Gosstandart Publ., 2002. 22 p. (In Russian).

Информация об авторе

Шошин Артем Олегович – ассистент кафедры механики и конструирования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Сverdlova, 13а, Республика Беларусь). E-mail: raul777gol@mail.ru, shoshyn@belstu.by

Information about the author

Shoshyn Artsiom Olegovich – assistant, the Department of Mechanics and Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: raul777gol@mail.ru, shoshyn@belstu.by

Поступила 06.09.2021