

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСИЛИЯ В ТЯГОВОМ КАНАТЕ  
КАНАТНЫХ ТРЕЛЕВОЧНЫХ УСТАНОВОК ПРИ ПРЕОДОЛЕНИИ ЛОБОВЫХ  
СОПРОТИВЛЕНИЙ**

**Шошин А. О., ассист.**

Белорусский государственный технологический университет  
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: raul777gol@mail.ru

**EXPERIMENTAL RESEARCHES OF EFFORT IN THE MAIN LINE OF THE  
YARDERS AT THE OVERCOMING OF THE FRONT RESISTANCE**

**Shoshyn A. O., Assist.**

Belarusian State Technological University  
(Minsk, Republic of Belarus)

**Аннотация.** Экспериментальные исследования в реальных производственных условиях были направлены на определение усилия в тяговом канате при выполнении наиболее опасной операции первичного транспорта – подтрелевки. Исследования усилий выполнялись на трелевочном тракторе с канатно-чokerной оснасткой ТТР-401. Определялись усилия при преодолении хлыстами комлевой частью лобового сопротивления в виде пня. Было выделено 3 характерных ситуации, возникающих при преодолении лобового сопротивления в виде пня: прохождение вертикально вверх по образующей пня; прохождение сбоку по образующей пня; прохождение комбинированным способом. Полученные максимальные усилия превышали массу трелеваемого хлыста в 2–12 раз.

**Ключевые слова:** трелевка; канат; сопротивление движению, тяговое усилие

**Abstract.** Experimental studies in real production conditions were aimed at determining the force in the traction rope when performing the most dangerous primary transport operation – lateral hauling. Researches of efforts were carried out on a skidder with a rope-choker rig TTR-401. The efforts were determined when the whips overcame the butt part of the drag in the form of a stump. Three characteristic situations were identified that arise when overcoming drag in the form of a stump: passing vertically up the generatrix of a stump; passing sideways along the generatrix of the stump; passing in a combined way. The obtained maximum efforts exceeded the mass of the trawled whip by 2–12 times.

**Key words:** yarding; cable; resistance to movement, traction

**Введение.** Исследованию усилий, возникающих в канатной оснастке канатных трелевочных установок (КТУ), посвящены работы многих авторов в советское время: Белая Н. М., Альшев И. Ф., Коротяев Л. В., Матвеев Э. Н., Журавлев Н. А., Стан И., Тулатов В. В., Бем Н. Д. и др. [1–8].

Белая Н.М. установила, что тяговые канаты, в отличие от несущих, большую часть своего рабочего цикла работают с динамическими нагрузками [1]. Было определено, что наиболее опасная часть цикла работы канатной трелевочной установки – подтрелевка древесины к несущему канату. Динамический коэффициент при выполнении данной операции принимал значение в пределах 1,5–2,4.

Альшев И.Ф. опытным путем установил зависимость коэффициента трения скольжения  $\mu$  в зависимости от породы и вида трелеваемой древесины: еловые хлысты – 0,44–0,46, хлысты других пород – 0,4–0,43 [2].

Коротяев Л.В., исследуя работу КТУ [3], установил, что увеличение объема пачки хлыстов от 2 до 12 м<sup>3</sup> при отсутствии лобовых сопротивлений приводит к уменьшению коэффициента трения скольжения пачки  $\mu$  от 1,6 до 0,4. В зависимости от вида напочвенного покрова и состава почв, по мере увеличения стрелеванного объема древесины по волоку, ко-

коэффициент  $\mu$  уменьшается до определенного минимального значения, а потом увеличивается, но до значений, значительно меньших максимального. При отсутствии лобовых сопротивлений увеличение среднего объема хлыста от 0,1 до 1,0 м<sup>3</sup> приводит к уменьшению  $\mu$  от 1,6 до 0,4. Изменение  $\mu$  от среднего объема хлыста напрямую связано с изменением количества лесоматериалов в пачке, так как увеличение количества хлыстов приводит к увеличению одновременно контактирующих предметов труда с препятствиями на волоке и на пачке.

Виногоров Г.К. устанавливает величины сопротивления перемещению движению как коэффициент трения скольжения в зависимости от вида почвы [9]. Коэффициент сопротивления движению (коэффициент трения скольжения) 0,25–0,56 в зависимости от вида почвы. Величина коэффициента лобового сопротивления может быть в 1,2–1,3 раза превышать значение коэффициента сопротивления движению. В то же время автор отмечает, что лобовое сопротивление может возрасти до очень больших величин, превышающих силу тяги трактора, в случаях упора лесоматериалов в препятствия – пни, корни, валуны и т.д. и эти сопротивления следует рассматривать как недопустимые и расчет по ним вести нельзя.

Изучение вышеописанных работ показало, что вопрос целенаправленного исследования лобового сопротивления от контакта трелюемой пачки и пней практически не рассматривался. Приведенные авторы в своих работах не выделяли из выведенных диапазонов значений коэффициента сопротивления движению степень или долю влияния пней, однако очевидно, часть исследуемой ими выборки несомненно включала этапы преодоления пней трелюемой пачкой. В то же время при выполнении хронометражных исследований работы МКТУ Lаgix 3Т-500 [10] в условиях заболоченного лесфонда было выявлено, что наиболее опасными факторами, уменьшающими производительность труда и значительно повышающими травмоопасность, являются:

- трение пачки о дерево промежуточной опоры.
- сопротивление подтрелевке, вызванное контактом пачки с пнями (до 1,5 м высотой).

Негативное влияние первого фактора может быть уменьшено частичным изменением технологии работы и обучением персонала специальным приемам работы. Наиболее серьезным является второй фактор ввиду того, что на данный момент нет серийно выпускаемых установок, позволяющих выполнять первичный транспорт древесины без подтрелевки, полностью подвесным способом и, таким образом, имевших возможность исключить данный фактор. Из практики применения МКТУ в заболоченных и горных условиях известно, что наиболее часты случаи разрыва тягового каната при преодолении лобовых препятствий. Поэтому важным вопросом является определение возможных границ, кратности значений усилия в тяговом органе по отношению к массе трелюемой пачки при выполнении подтрелевки.

**Материалы и методы.** Объектом исследования был выбран трелевочный трактор (ТТ) с канатно-чокерной оснасткой ТТР-401, в качестве предмета исследования – усилия в его тяговом канате. Выбор предмета исследования в пользу ТТ, а не специализированной мобильной КТУ обоснован тем, что в реальных производственных условиях (заболоченные лесосеки), достаточно сложно обеспечить исследовательскую работу с дорогостоящим оборудованием, предназначенным для менее экстремальных условий. В случае же с выбранным трактором ТТР-401 эксперимент проводился в летнее на сухой лесосеке с плотной почвой. В то же время, процесс трелевки с помощью ТТ и процесс подтрелевки с помощью существующих мобильных КТУ идентичен, так как в обоих случаях транспорт лесоматериалов происходит частично волоком, частично в полуподвесном положении (угол наклона нити каната к горизонтальной поверхности минимален).

Перед выполнением эксперимента производилась валка отдельного дерева в сторону, обратную от направления трелевки таким образом, что после чокеровки хлыста за комель трелевка производилась в пень только что поваленного хлыста. При выполнении экспериментальных исследований выполнялась подтрелевка пачек, состоящих из одного хлыста, так как при подтрелевке пачки, состоящей из нескольких хлыстов, невозможно

было бы точно оценить степень влияния каждого хлыста, характер контакта с препятствием, взаимное влияние каждого лесоматериала в пачке на сопротивление движению и др.

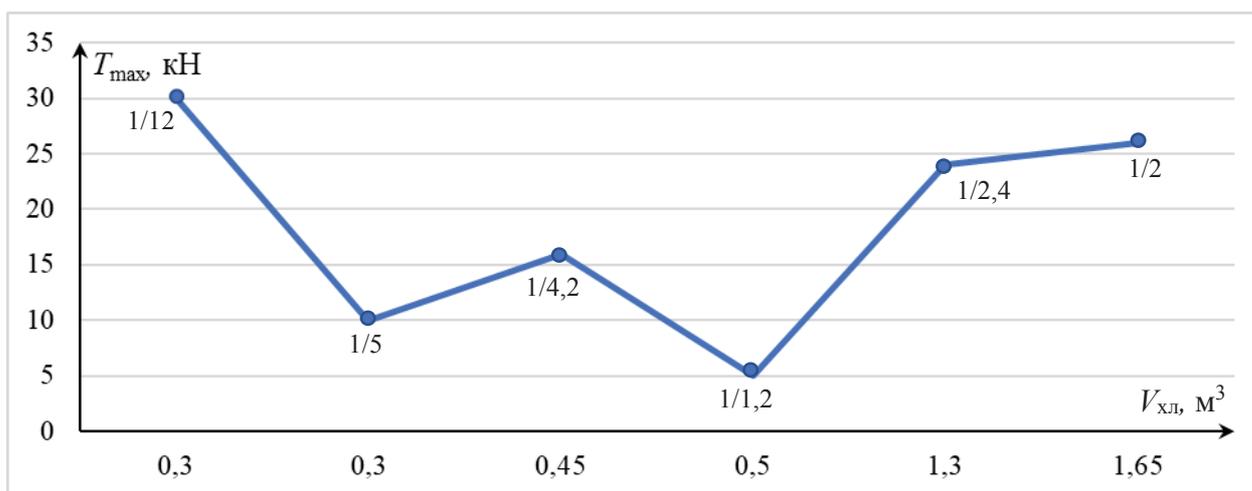
В качестве измерительной аппаратуры (рисунок 1) для получения экспериментальных данных применялся многоканальный измерительный усилитель сигнала HBM Spider8, который подключался к ноутбуку с программным приложением Catman с измерительным комплексом применялся кабельный удлинитель с четырьмя жилами. Питание измерительного комплекса осуществлялось с помощью автомобильного аккумулятора. Для определения усилия тяги на перемещение лесоматериалов использовался датчик силы HBM U9B, с измерительным комплексом применялся кабельный удлинитель с четырьмя жилами. Питание измерительного комплекса осуществлялось с помощью автомобильного аккумулятора.



*a* – измерительное оборудование (ноутбук, Spider8, аккумулятор); *б* – датчик силы HBM U9B

**Рисунок 1 – измерительное оборудование**

**Результаты.** Выборка при исследовании усилий в тяговом канате трелевочного трактора ТТР-401 на преодоление пней составила 6 опытов. В результате проведенных замеров были получены зависимости между временем на преодоление лобового сопротивления и усилием в тяговом канате (рисунок 2).



**Рисунок 2 – зависимость между тяговым усилием и объемом хлыста**

Как можно видеть из графика, отсутствует прямая зависимость между увеличением объема хлыста и максимальным усилием тяги в канате. При равном значении объема хлыста для первых двух опытов ( $V_{\text{хл}} = 0,3 \text{ м}^3$ ) разница в соотношении масса хлыста/тяговое усилие составила 1/12 и 1/5. Для оставшейся выборки данные соотношения составили 1/4,2 ( $0,45 \text{ м}^3$ ), 1/1,25 ( $0,5 \text{ м}^3$ ), 1/2,4 ( $1,3 \text{ м}^3$ ), 1/1,97 ( $1,65 \text{ м}^3$ ). На графике над каждой точ-

кой, соответствующей конкретному опыту отмечена кратность усилия тяги для данного хлыста по отношению к его массе.

Наибольшие соотношения между усилием тяги и массой трелеваемого лесоматериала наблюдались в случаях прохождения вертикально вверх по образующей пня – 1 способ (2 точки с объемом хлыста  $0,3 \text{ м}^3$  на рисунке 2). Вторым по степени превышения усилия тяги над массой хлыста оказался 2 способ преодоления лобового сопротивления (точки с объемом хлыста  $0,45, 1,3$  и  $1,65 \text{ м}^3$ ). Наименее опасным способом преодоления хлыстом пня является 3 (точка с объемом хлыста  $0,5 \text{ м}^3$ ).

В исследованной выборке с учетом отбракованных экспериментов было выявлено 3 способа прохождения хлыстом пня (рисунок 3):

- 1) прохождение вертикально вверх по образующей пня (рисунок 3, а);
- 2) прохождение сбоку по образующей пня (рисунок 3, б);
- 3) прохождение комбинированным способом (рисунок 3, в).

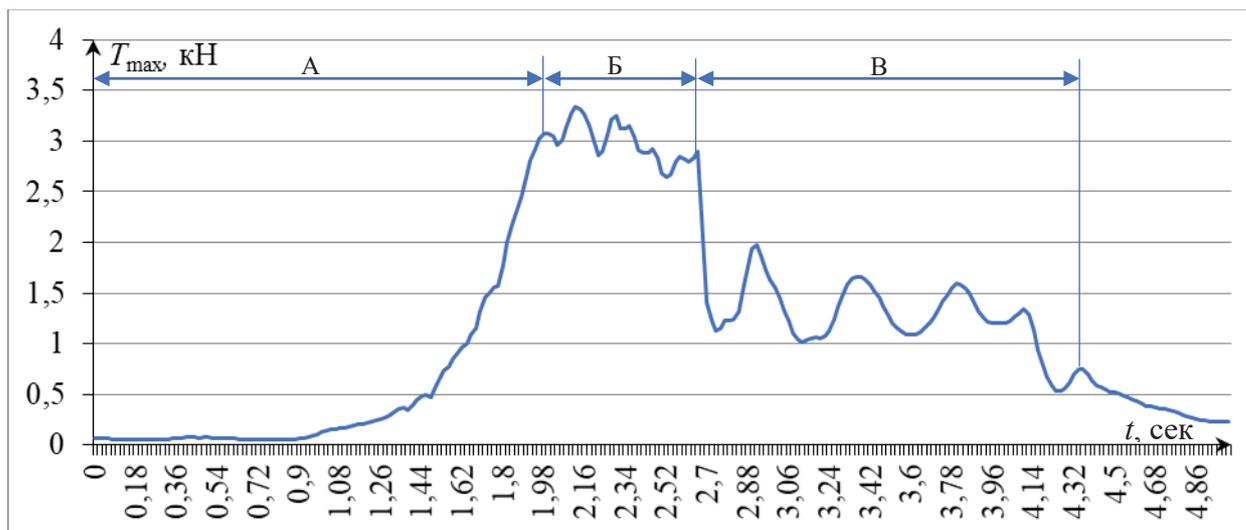


а – прохождение вертикально вверх по образующей пня; б – прохождение сбоку по образующей пня; в – прохождение комбинированным способом

**Рисунок 3 – Прохождение хлыстов через пень**

Анализ зависимостей изменения усилия для всей выборки позволил выявить одинаковую для всех опытов закономерность, выраженную в последовательности трех характерных этапов (рисунок 4):

- А) нарастание усилия тяги в канате для преодоления сложившейся ситуации контакта с пнем, силы трения покоя и сопротивления подъему по пню (зона А, рисунок 4);
- Б) преодоление пня одним из 3 вышеописанных способов (зона Б, рисунок 4);
- В) движение хлыста по почве или пню без явных лобовых сопротивлений (зона В, рисунок 4).



**Рисунок 4 – Зависимость усилия в тяговом канате на преодоление лобового сопротивления в виде пня (случай преодоления пня хлыстом объема  $0,5 \text{ м}^3$ , проходящего по образующей пня)**

**Обсуждение.** Анализ графика зависимости усилий для исследуемой выборки (рисунок 2) и ряда отбракованных опытов исследуемой выборки показал, что значение максимального усилия при подтрелевке, которое соответствует усилию на преодоление пня комлевым концом хлыста может превышать десятикратно массу трелеваемого лесоматериала и такое соотношение не предел. Однако по данной небольшой выборке трудно с уверенностью задать верхнюю границу превышения или его примерный диапазон. Важно отметить, что при выполнении эксперимента планировалось выборка порядка 30 опытов, однако в ряде случаев, при которых трелевались хлысты объемом даже  $0,3 \div 0,5 \text{ м}^3$  были зафиксированы максимальные величины для используемого измерительного оборудования ввиду большого лобового сопротивления движению. К тому же, проведение данного опыта сопряжено, как и на практике, со значительными трудностями в обеспечении безопасности для людей.

**Заключение.** При выполнении подтрелевки и трелевки с использованием мобильных КТУ чокеровщику необходимо стремиться так управлять процессом первичного транспорта (с помощью дистанционного управления), чтобы пачка хлыстов проходила наименьший путь для сокращения времени цикла, одновременно планируя путь перемещения с учетом наименьшего количества лобовых столкновений пачки с возникающими препятствиями. Немаловажная роль в эффективном и безопасном процессе первичного транспорта отводится и вальщику, работа которого заключается в обеспечении направленного повала дерева в сторону, позволяющую наименее трудозатратно выполнить подтрелевку.

Результаты, полученные в ходе исследования, могут послужить основанием для совершенствования технологии работы существующих КТУ, а также проектирования новых типов КТУ, адаптированных, в первую очередь, к условиям работы в условиях заболоченного лесфонда.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Белая Н. М. Теоретические и экспериментальные исследования стальных канатов подвесных лесотранспортных установок: автореферат ... докт. техн. наук: 05.21.01. Москва, 1967. 42 с.
2. Алышев И. Ф. Исследование сопротивления движению при трелевке лебедками ТЛ-3 полуподвесным способом: автореферат ... канд. техн. наук: 05.21.01. Санкт-Петербург, 1953. 15 с.
3. Коротяев Л. В. Исследование сопротивления движению при трелевке леса: автореферат ... канд. техн. наук: 05.21.01. Свердловск, 1970. 32 с.
4. Матвеев Э. Н. Динамика подъема и стопорения груза на подвесных канатных лесотранспортных установках: диссертация ... канд. техн. наук: 05.21.01. Львов, 1983. 252 с.
5. Журавлев Н. А. Исследование динамики лебедочных механизмов при тяговых режимах нагружения: автореферат ... канд. техн. наук: Львов, 1978, 22 с.
6. Стан И. Исследование динамический усилий в канатах воздушно-трелевочных установок при трелевке леса в горных условиях: автореферат ... канд. техн. наук: Москва, 1965, 32 с.
7. Тулатов В. В. Исследование усилий в стальных канатах и опорах многопролетных воздушно-трелевочных установок при трелевке леса в горных условиях: автореферат ... канд. техн. наук: Ленинград, 1965, 19 с.
8. Бем Н. Д. Силовые режимы и выносливость тягово-несущих канатов лесотранспортных установок: автореферат ... канд. техн. наук: 05.21.01. Воронеж, 1992, 26 с.
9. Виногородов Г.К. Лесосечные работы. М.: Лесная промышленность, 1981. — 272 с.
10. Шошин А. О. Исследование процесса трелевки хлыстов на заболоченных лесосеках канатными установками в зимний период / А. О. Шошин, П. А. Протас, С. П. Мохов, В. В. Гречко / Материалы 1-ой Международной научно-технической конференции "Лесозаготовительное производство: проблемы и решения". – Минск: БГТУ, 2017. – с. 72-76. – ISSN 2522-171X.