

634.982

1-73

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ БССР

---

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ ИМЕНИ С. М. КИРОВА

630\*375.1

*На правах рукописи*

М. В. ХОДОСОВСКИЙ

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
ПРОХОДИМОСТИ ХЛЫСТОВ  
ПРИ ПОЛУПОДВЕСНОЙ  
ТРЕЛЕВКЕ ЛЕБЕДКАМИ**

(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 420. МАШИНЫ, МЕХАНИЗМЫ  
И ТЕХНОЛОГИЯ ЛЕСОРАЗРАБОТОК, ЛЕСОЗАГОТОВОК  
И ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

МИНСК, 1968

634.976  
X-73

Министерство высшего и среднего специального  
образования БССР

Белорусский технологический институт имени  
С.М.Кирова

На правах рукописи

**М.В.ХОДОГОВСКИЙ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОХОДИМОСТИ ХЛЫСТОВ ПРИ  
ПОЛУПОДВЕСНОЙ ТРЕЛЕВКЕ ЛЕБЕДКАМИ**

(Специальность 420. Машины, механизмы и технологии  
лесоразработок, лесозаготовок и лесного хозяйства).

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

БИБЛИОТЕКА БТИ  
ИМЕНИ С. М. КИРОВА

Минск, 1968

2083 ар

Работа выполнена в Белорусском технологическом институте им.С.М.Кирова

Экспериментальная часть работы выполнена в Полоцком леспромхозе Министерства лесной и деревообрабатывающей промышленности БССР.

Научный руководитель – доктор технических наук,  
профессор С.Х.БУДЫКА.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор Д.К.ВОБВОДА,  
Кандидат технических наук, доцент В.Д.МАРТЫНИХИН.

Ведущее предприятие –  
Лунинецкий леспромхоз Министерства лесной и деревообра-  
батывающей промышленности БССР.

Автореферат разослан " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1968 г.

Защита диссертации состоится в Белорусском технологи-  
ческом институте " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1968 г.

Просим Ваши отзывы по автореферату обязательно в 2-х экземплярах с заверенными подписями направлять по адресу: гор.Минск, ул.Свердлова 13, Белорусский технологический институт имени С.М.Кирова.Ученому секретарю.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета

(И.П.БЛИНЦОВА)

XXIII съезд КПСС поставил перед советским народом задачу всемерного повышения эффективности общественного производства, производительности труда и качества продукции. На современном этапе развития советской экономики решающее значение приобретает рациональное, экономичное хозяйствование во всех без исключения звеньях общественного производства. Это непосредственно относится и к лесной промышленности, которая осуществляет свои функции в исключительно разнообразных природных и производственных условиях, что требует индивидуального подхода к разработке технологии и выбору машин.

Наибольшему влиянию природных и производственных условий подвержена одна из ведущих операций технологического процесса лесоразработки - трелевка леса. Большое разнообразие почвенно-грунтовых условий и рельефа местности вынуждает применять различные способы первичной транспортировки древесины, основой которых являются тракторы и лебедки.

Как правило, выбор таких трелевочных машин как трактор и лебедка производится по основному признаку - почвенно-грунтовым и рельефным условиям, которые накладывает определенные ограани-

чения на главную функцию машины — способность транспортировать лесные грузы в условиях бездорожья. Однако правильный выбор типа и марки трелевочной машины, в частности, трелевочной лебедки, еще не исчерпывает всей задачи, так как условия проходимости груза в данном случае обеспечивает не лебедка, а приводимая ею тросовая система, то есть трелевочно-погрузочная установка.

Все применяемые в настоящее время полуподвесные трелевочные системы спроектированы с учетом преодоления препятствий в вертикальной плоскости, достигаемого в результате большего или меньшего подъема головной части вала над волоком. Высота подъема вершинной части вала обеспечивается подъемной силой, величина которой зависит от типа установки и ее параметров, а последние тесно связаны с объемом и стоимостью монтажно-демонтажных работ. Наряду с полуподвесными установками с одной головной мачтой, не обеспечивающими высокой проходимости вала, применяются установки с новыми канатами, которые требуют больших трудозатрат на монтажно-демонтажные работы, но в то же время более полно удовлетворяют требованиям перемещения древесины по волоку.

Развитие и усовершенствование полуподвесной трелевки лебедками в равной мере основывалось на соображениях чисто интуитивного характера без количественного учета особенностей груза и сложного взаимодействия его с тяговым органом.

Отсутствие способа оценки проходимости хлыстов по волокам при полуподвесной трелевке, а также основанного на нем метода выбора оптимального типа трелевочной установки приводит к экономическим просчетам, что в свою очередь нередко дискредитирует



- 3 -

лебедочную трелевку и в немалой степени способствует не всегда оправданному вытеснению её из лесосек более дорогостоящими трелевочными тракторами.

Если выбор трактора или лебедки производится на основании учета почвенно-грунтовых условий, рельефа местности и среднего объема хлыста, то выбор оптимального типа полуподвесной трелевочной установки требует анализа очень сложной совокупности производственных и природных факторов, которые должны получить строгую количественную оценку.

Особую актуальность приобретает задача выбора оптимального типа полуподвесной трелевочной системы для заболоченных лесосек Белоруссии, где имеет место широкое варьирование размеров лесосек, степени их заболоченности, среднего объема хлыста, что при необоснованном назначении типа трелевочной установки приводит к увеличению стоимости трелевки. Этим вопросам и посвящается диссертация, состоящая из введения, пяти глав, выводов и приложений.

В первой главе - "СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ" - дан анализ особенностей полуподвесной трелевки на заболоченных лесосеках Белоруссии, приведен обзор литературных источников о проходности хлыстов по волокам и определены задачи исследований.

Отличительная особенность трелевки на заболоченных лесосеках БССР, главным образом, с ольховыми насаждениями, заключается в значительных препятствиях на волоке в виде пней и выступающих над грунтом корневых лап. Проблема усугубляется еще и малой несущей способностью переувлажненных грунтов, небольшим запасом древесины на га и целым рядом других факторов.

Из всего объема древесины, заготавливаемой в настоящее время

ия на заболоченных лессовках, 60% трелюется установками без несущего каната типа ТПУ-СЗ и 40% - установками с несущим канатом ТПК-I. В выборе того или иного типа трелевочной установки решающую роль играет сложившийся опыт и субъективные оценки условий проходимости хлыстов.

Все исследования, относящиеся к трелевке полуподвесными установками, не затрагивали вопросы проходимости хлыстов, что подтверждается отсутствием литературных данных, которые позволили бы определять влияние условий проходимости на стоимость трелевки древесины.

Касаясь вопроса высоты подъема вершинной части хлыстов над мушкетом, исследователи максимально упростили решение этой задачи, рассматривая хлыст как жесткий конический стержень, передний конец которого подвешивался к канату, а задний опирался на мушкет в одной точке. Пренебрежение гибкостью хлыстов искажало действительную картину явлений, происходящих при полуподвесной трелевке, и не позволяло определить высоту подъема вершинной части вала при данных параметрах установки в любой точке волока.

Теоретический анализ гибкости хлыстов представляет трудную задачу. Основными затруднениями в этом являются отсутствие достаточно надежного и удобного для пользования уравнения образующей поверхности хлыста, совместное действие поперечных и продольных сил с непрерывным изменением направления последней. В этом смысле можно говорить только о приближенном теоретическом уравнении, погрешность которого многократно увеличится при применении его к валу хлыстов.

Основной целью нашей работы является разработка методики технико-экономического анализа проходимости хлыстов по волокам

при полуподвесной трелевке лебедками и основанного на ней выбора оптимального типа трелевочной установки в зависимости от конкретных производственных условий.

Для решения поставленной задачи проведены исследования величины подъемной силы, обеспечиваемой полуподвесными установками, исследования гибкости хлыстов, состояния транспортных путей (волоков) с точки зрения количества препятствий, встречаемых возом, а также исследования вероятности безостановочных проходов возом пней.

В главе II - "ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ПОДЪЕМНОЙ СИЛЫ ПОЛУПОДВЕСНЫХ ТРЕЛЕВОЧНЫХ УСТАНОВОК" - рассмотрен ряд вопросов, связанных с анализом изменений вертикальной составляющей тягового усилия полуподвесных трелевочных установок в зависимости от их параметров, объема воза, коэффициента сопротивления движению ( $\mu$ ), уклонов местности, направления трелевки относительно склона и т.д.

На основании теоретических исследований нами получена формула, аналогичная формуле, выведенной И.Ф.Алышевым<sup>I</sup> по иной методике. Формула определяет расстояние от мачты, в пределах которого проявляется действие вертикальной составляющей при трелевке на горизонтальном и наклонном волоках и имеет вид:

$$L_0 = \sqrt{\frac{2Gh\mu\alpha \cos\delta}{g}} \quad (21)^2, \text{ где}$$

$G$  - вес воза, кг;

$h$  - высота мачты, м;

<sup>I</sup> И.Ф.Алышев. "О высоте мачты при трелевке лебедками ТЛ-3" 1954 г.

<sup>2</sup> Номерации формул в автореферате приводятся та же, что и в диссертации.



$\mu' = \mu \cos \delta \pm \sin \delta$ ;  $\mu$  - коэффициент сопротивления движению;  
 $q$  - вес I пог.м каната, кг;  
 $\delta$  - угол наклона волока.

Решая дифференциальное уравнение параболы с началом координат, отнесенным к вершине мачты, получена формула, устанавливающая закономерность изменения угла  $\alpha$  между горизонталью и касательной к тяговому канату в точке прицепки груза;

$$\cos \alpha = \frac{l(hq + \sqrt{4G^2\mu'^2 - q^2l^2})}{2G\mu' \sqrt{h^2 + l^2}} \quad (27) \text{ где}$$

$l$  - расстояние от мачты.

Ввиду того, что лесосеки располагаются иногда на наклонных участках местности, нами получены формулы, определяющие закономерность изменения угла  $\alpha$  в зависимости от уклона волока и направления трелевки относительно склона (на подъем или под уклон):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2hg(\mu' \cos \delta - q(l \pm h \sin \delta)) \sqrt{h^2 \cos^2 \delta + (l \pm h \sin \delta)^2}}{\mu'(l \pm h \sin \delta) [2G + q \sqrt{h^2 \cos^2 \delta + (l \pm h \sin \delta)^2}]^2} \quad (36)$$

Для случая трелевки на подъем в выражении  $(l \pm h \sin \delta)$  ставится знак -, а под уклон +. При малых углах уклона волока ( $5^\circ - 8^\circ$ ) величиной  $h \sin \delta$  можно пренебречь, и тогда формула (36) примет более простой вид.

Увеличение высоты мачты является решающим фактором, обеспечивающим рост вертикальной составляющей тягового усилия. Относительный рост этой составляющей, вызываемый увеличением высоты мачты, изменяется в зависимости от расстояния  $l$  (рис. 1). По мере

<sup>1</sup> Формула (27) дает такой же результат, как и формула, выведенная В. И. Алябьевым относительно  $\operatorname{tg} \alpha$

удаления от мачты, то есть с уменьшением абсолютной величины вертикальной составляющей, относительный рост ее увеличивается. Так, например, при весе груза 3000 кг и увеличении высоты мачты с 10 до 18 м., то есть в 1,8 раза, вертикальная составляющая на расстоянии 150 м увеличивается примерно в 3 раза, на расстоянии  $l = 100$  м - в 2 раза и на расстоянии 20 м. - в 1,5 раза. Сколько-нибудь существенное значение приобретает величина вертикальной составляющей в качестве подъемной силы на расстояниях до  $l = 150 - 170$  м.

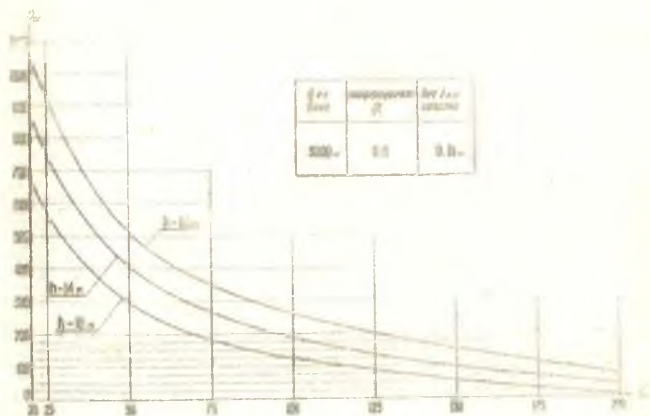


Рис. I. Изменение величины вертикальной составляющей в зависимости от высоты мачты.

Коэффициент сопротивления движению  $\mu$  оказывает существенное влияние на величину вертикальной составляющей. При этом, по мере удаления от мачты интенсивность относительного роста вертикальной составляющей при увеличении коэффициента  $\mu$  также возрастает.

Вертикальная составляющая в зависимости от уклона местности и направления трелевки при углах  $\alpha = 5-10^\circ$  изменяется на такие величины, которые оказывают ощутимое влияние на условия проходимости хлыстов.

При трелевке установками с несущим канатом типа ТПК-I высота подъема верхней части воя, а, следовательно, и условия проходимости зависят от величины вертикальной составляющей тягового органа, обеспечиваемой в данном случае торможением каретки холостым канатом.

Холостые барабаны лебедок не имеют ленточных тормозов, поэтому подтормаживание каретки осуществляется неполным включением полусной муфты, что требует от лебедчика повышенного внимания и в то же время не обеспечивает сколько-нибудь постоянной величины тормозной силы.

Величина тормозной силы  $F_2$ , необходимой для обеспечения заданного угла  $\alpha$  в случае, если тяговый канат прокатывается по грузовому ролику, то есть, когда скорости движения каретки и груза не одинаковы, вычисляется по полученной нами формуле:

$$F_2 = \frac{G \pi \left[ (1 - \eta \cos \alpha) - \eta \sin \alpha \left( \frac{R_G z + f}{R} \cos \delta \pm \sin \delta \right) \right]}{\eta (\cos \alpha + \pi \sin \alpha)} \quad (44), \text{ где}$$

$\eta$  - КПД грузового ролика каретки;

$\delta$  - угол подъема (спуска) каретки по несущему канату.

Если тяговый канат не прокатывается по грузовому ролику, что имеет место при одинаковых скоростях движения воя и каретки, то  $\eta = 1$ .

Для создания угла  $\alpha = 25^\circ - 30^\circ$ , способного обеспечить высокую проходимость хлыстов при трелевке данными установками, тормозная сила  $F_2$ , как это видно из рис. 2-б, составляет порядка

15-20% от общего тягового усилия.

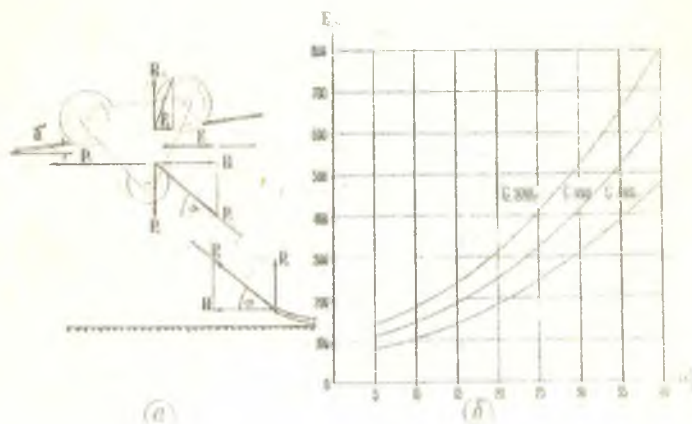


Рис.2. а) Расчетная схема для определения тормозной силы в зависимости от угла  $\alpha$  и веса вoза  $G$

б) График изменения тормозной силы в зависимости от угла  $\alpha$  и веса вoза при  $\mu=0,06$  и  $\eta=0,96$ .

Вторым существенным недостатком установки является ручное вытравливание рабочего каната при подаче его к месту прицепки хлыстов, что увеличивает затраты времени на чокеровку.

Основываясь на всестороннем анализе недостатков принятой схемы запасовки канатов на каретке, нами спроектирована принципиально новая автоматическая бесстопорная каретка с фиксацией на ней вершинной части вoза и механической подачей чокеров к месту прицепки хлыстов. Отличительной особенностью каретки является то, что стопорение ее на несущем канате совершается при безостановочном движении соединенных между собой тягового и холостого канатов, без сообщения ей обратного хода и какой-либо сигнализации между чокорышкой и лебедчиком. Стопор-

ний механизм срабатывает автоматически в зависимости от угла, на который отклоняется холостой канат от несущего в месте прицепки хлыстов. Величина угла устанавливается регулятором в пределах  $30^{\circ}$ - $60^{\circ}$ .

В главе III - "ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИБКОСТИ ХЛЫСТОВ" - описаны сконструированные нами специальные экспериментальные установки, определены погрешности всех измерений и изложена методика исследований.

В задачу экспериментальной части входило:

1. Исследовать гибкость хлыстов в зависимости от их объема, заряда высот и породы древесины и на основании полученных данных вывести уравнение прогиба вершины.

2. Исследовать изменение прогиба вершин в зависимости от величины коэффициента сопротивления движению  $\mu$ .

3. Опытным путем проверить закономерность изменения величины вертикальной составляющей тягового усилия и действие ее на прогиб вершин веза на всем протяжении волока, а также установить правомерность применения корреляционного уравнения прогиба вершины к везу хлыстов, собранных в веерообразную пачку.

4. Оценить различие между фактической и теоретической вертикальной составляющей на малых расстояниях от мачты, где действующая высота последней уменьшается на величину подъема вершинной части веза над волоком.

Экспериментальные исследования проводились в весенне-летние месяцы 1964 и 1965 г.г. в Полоцком леспромхозе на нижнем складе "Алёша", где была подготовлена строго горизонтальная полоса шириной 250 м и смонтированы экспериментальные установки. В качестве исследуемых пород были приняты ель, ольха и береза.

Исследования гибкости хлыстов были построены по методу



объемных групп, основанному на тщательном подборе хлыстов к 4-м объемным группам для каждой породы и разряда высот. Указанный метод позволил охватить достаточно широкий диапазон объемов (от  $0,15 \text{ м}^3$  до  $0,5-0,7 \text{ м}^3$ ) и в то же время существенным образом уменьшить трудоемкость опытов.

Для выполнения I и 2-го пунктов программы исследований применялась экспериментальная установка № I, состоящая из вешивающего устройства, измерительных салазок (с датчиками тяговой силы, направления тяги и высоты подъема вершины), осциллографа ОУ-24, трособлочной системы с мачтой переменной высоты и лебедки ТЛ-4. Мачта переменной высоты представляла собой две стойки высотой 8 м, соединенные сверху перекладиной. По направляющим рельсам, закрепленным на стойках, перемещалась поднимаемая отдельным канатом каретка с роликом, через который был пропущен рабочий тяговый канат.

Применение мачты переменной высоты позволило, многократно сжав процесс трелевки по длине, воспроизвести его на участке волока протяженностью в 5-6 м. Кроме того, при малой длине каната представилось возможным избежать его колебаний и тем самым получить более точные замеры направления тяговой силы, применив для этой цели сравнительно простой маятниковый прибор.

Гибкость хлыста в статическом состоянии определялась на вешивающем устройстве, которое обеспечивало вертикальное положение подъемного каната и одинаковые интервалы высот подъема. Вершинная часть хлыста поднималась до высоты 2-х метров. Величина подъемной силы измерялась динамометром с точностью  $\pm 1 \text{ кг}$ . На этом же устройстве производилось взвешивание хлыста для более точного определения величины коэффициента сопротивления движению  $\mu$ .

Высота подъема вершины хлыста в движении в зависимости от

величины вертикальной составляющей тягового усилия и коэффициента сопротивления движению ( $\mu$ ) записывалась на осциллограмму при помощи измерительных салазок. Каждый хлыст протаскивался дважды: первый раз при естественном коэффициенте сопротивления движению ( $\mu_1$ ) и второй - с присоединенным к концу подтормаживающим канатом, которым обеспечивалось искусственное увеличение коэффициента ( $\mu$ ) до величины ( $\mu_2 = 0,8$ ) путем большего или меньшего зажатия тормозной ленты барабана. Величина тормозной силы  $P_T$ , необходимой для создания постоянного коэффициента ( $\mu_2 = 0,8$ ), вычислялась по формуле

$$P_T = G(\mu_2 - \mu_1) \quad (54)$$

и устанавливалась по динамометру в процессе подтаскивания хлыста к измерительным салазкам.

Опытами было установлено, что кривая зависимости прогиба вершины от подъемной силы одного и того же хлыста становится более правильной, если хлыст покоится на менее жесткой плоскости. С этой целью, то есть для более равномерной передачи давления на опорную поверхность, перед вывешивающим устройством было устроено основание из сухого песка.

Доставка свежесрубленных хлыстов из лесосеки и уборка их производились ежедневно. На экспериментальной установке № I было исследовано 420 хлыстов (таблица № I).

Экспериментальная установка № I не могла быть использована для выполнения 3 и 4 пунктов программы, то есть для исследования процесса трелевки в его натуральную величину, так как не позволяла учесть в каждый данный момент ни расстояние от мачты, ни ее высоту. Кроме того, колебания тягового каната и удары его о грунт привели бы к повреждению навешенных на нем приборов. Во

Таблица I

Порода	Разряд	Средний высот	Средний объем группы, м <sup>3</sup>	Количество хлыстов в груп- пе	Порода	Разряд	Средний высот	Средний объем группы, м <sup>3</sup>	Коли- чество хлыстов в груп- пе
ель	I	0,123	12	15	береза	II	0,198	15	15
		0,272	13				0,340	19	
		0,502	15				0,520	18	
		0,680	17						
ель	II	0,171	15	13	береза	III	0,186	17	18
		0,330	19				0,270	17	
		0,443	21				0,413	19	
		0,720	14				0,546	18	
ель	IV	0,160	15	24	ольха	II	0,176	31	24
		0,310	16				0,302	33	
		0,513	15				0,462	33	
		0,788	17				0,630	24	

избежание этого для выполнения 3 и 4 пунктов программы исследований была применена измерительная тележка на велосипедных колесах с плавающим параллелограммным устройством, которое создавало параллельную волоку подвижную плоскость с расположенной в ней точкой прицепки вoза. Тележка несла датчики тяговой силы, направления тяги и высоты подъема вершинной части вoза. Осциллографирование велось при наезде тележки на участки строго горизонтальной дощатой колеи, уложенной на волоке через 50 м. Расстояние от мачты отмечалось на осциллограмме кратковременным замыканием контактов микровыключателя. Вoзы формировались из двух-четырех хлыстов или одинаковых объемов и разрядов высот. На экспериментальной установке № 2 было стрелявано 27 вoзов.

Обе экспериментальные установки обеспечивали достаточно высокую точность эксперимента и хорошее качество осциллограмм.

В главе IV - "РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ" - изложен порядок статистической обработки экспериментального материала, приведен анализ влияния на прогиб вершинной части воеза породы древесины, среднего объема хлыста, разряда высот, высоты махты, коэффициента сопротивления движению  $(\mu)$ , углов наклона волока, а также построены в дифференциальной и интегральной форме кривые распределения коэффициентов беспрепятственных проходов воезом пней при полуподвешной и наземной трелевке.

Обработка производилась по каждому интервалу высот способом округления среднварифметического силы.

Все объемные группы хлыстов трех исследованных пород имеют показательную зависимость между прогибом вершины и подъемной силой, выражаемую уравнением вида  $y = Ce^{aP}$ , где  $P$  - подъемная сила в кг. Параметры уравнения вычислялись методом наименьших квадратов. Аналогичным образом обрабатывались данные о гибкости хлыстов при коэффициентах сопротивления движению  $(\mu_1)$  и  $(\mu_2)$ . На основании гиперболической зависимости параметра "а" от среднего объема хлыста и анализа относительных изменений его от величины коэффициента  $(\mu)$  получено универсальное корреляционное уравнение связи между прогибом вершинной части воеза и подъемной силой в статике и в движении:

$$y = Ce^{\frac{P(1 - \mu(\mu))}{n(mq_x + b)}} \quad (61), \text{ где}$$

$y$  - прогиб вершин, см;

$e$  - основание натуральных логарифмов;

$P$  - подъемная сила, кг;

$(\mu$  - коэффициент сопротивления движению (при прогибах в статике  $(\mu = 0)$ );



$q_x$  - средний объем хлыста.

Остальные обозначения - параметры уравнения, приведенные в таблице 2.

Таблиц 2

Параметры корреляционного уравнения прогибов вершин в статике и в движении

Порода	Разряд высот	Параметры				Пределы пользования уравнением		
		<i>C</i>	<i>m</i>	<i>b</i>	<i>K</i>	По объему хлыста	По коэф- фици- енту $\eta$	По высо- те подъ- ема вер- шин
ольх	I	4,89	52,11	8,25	0,228	0,15-0,70	0,00 - 0,80	от 4-5 см до 150см при $q_x \leq 0,25 \text{ м}^3$ и до 200 см при $q_x > 0,25 \text{ м}^3$
	II	3,73	58,87	5,50	0,209	—		
	IV	3,08	56,98	5,40	0,198	—		
береза	П	4,76	69,92	6,00	0,212	0,15-0,50	0,00 - 0,80	от 4-5 см до 150см при $q_x \leq 0,25 \text{ м}^3$ и до 200 см при $q_x > 0,25 \text{ м}^3$
	Ш	3,59	67,25	6,40	0,203	—		
ольха	П	2,62	56,43	7,00	0,147	0,15-0,65	0,00 - 0,80	от 4-5 см до 150см при $q_x \leq 0,25 \text{ м}^3$ и до 200 см при $q_x > 0,25 \text{ м}^3$

Графики прогибов вершин в статике и в движении (при  $\eta = 0,8$ ) представлены на рис. 3.

Корреляционное отношение  $\eta$  зависимости между прогибом вершины и подъемной силой вычислялось для всех объемных групп способом сумм. Величина корреляционных отношений колеблется в пределах от 0,68 до 0,83. Отношение  $\eta/m$  во всех объемных группах в статике и в движении больше 4, что подтверждает существование достаточно тесной корреляционной криволинейной связи между исследуемыми величинами. Оценка пригодности корреляционного уравнения устанавливалась по величине расхождения опытных данных с вычисленными. Наибольшие отклонения отдельных вариантов не превышают 3-4%, что свидетельствует о вполне приемлемой точности уравнений.

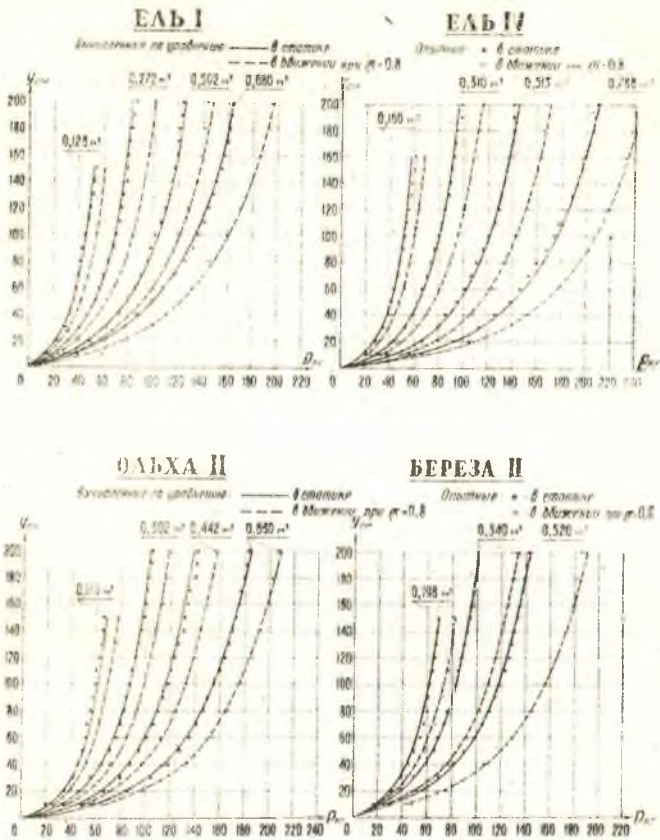


Рис. 3. Графики изменения прогибов вершин.

Величины прогиба вершины под действием подъемной силы изменяется в зависимости от объема хлыста, породы древесины, разряда высот и коэффициента сопротивления движению  $\mu$ . Изменение прогиба вершины для двух смежных разрядов высот одной породы незначительно.

коэффициент  $\mu$  существенно влияет на уменьшение прогиба

4  
103



вершины только при изменении его в широких пределах. Так, например, наибольшее уменьшение прогиба при коэффициенте  $(K = 0,8$  и одинаковых подъемных силах в сравнении с прогибом в статике достигает для ели I 50%, и ольхи II 33%. Особенно интенсивное уменьшение относительных прогибов при увеличении  $(K$  наблюдается в первоначальный период подъема, до высоты 60-80 см, то есть на том участке, где происходит значительное приращение длины приподнятой части хлыста.

Траектория движения приподнятой вершинной части воя при трелевке установкой с одной мачтой представляет гиперболическую кривую (рис. 4). Высота подъема вершин над грунтом зависит от многочисленных факторов - высоты мачты, среднего объема хлыста в вое, породы древесины, разряда высот, коэффициента сопротивления движению  $(K$ . Влияние каждого из указанных факторов на высоту подъема вершин не сохраняется постоянным на всем протяжении воя, что объясняется различным характером кривых прогиба вершин хлыстов и величины вертикальной составляющей тягового усилия. В общем случае резкое изменение высоты подъема вершин воя происходит на расстояниях 50-40 м и ближе.

Анализ влияния коэффициента  $(K$  на рост вертикальной составляющей тягового усилия и прогиб вершин показывает, что увеличение сопротивления движению при полуподвесной трелевке без несущего каната приводит к увеличению высоты подъема вершинной части воя, и, следовательно, положительно влияет на условия проходимости хлыстов по волокам. Относительному изменению прогиба вершин воя при увеличении коэффициента  $(K$  присуща сложная закономерность. По мере удаления от мачты относительный прирост подъемной силы возрастает, а относительное приращение прогиба вершин убывает. Объясняется это тем обстоятельством,

ством, что изменение вертикальной составляющей и высоты подъема вершин при изменении  $K$  происходят по различным кривым.

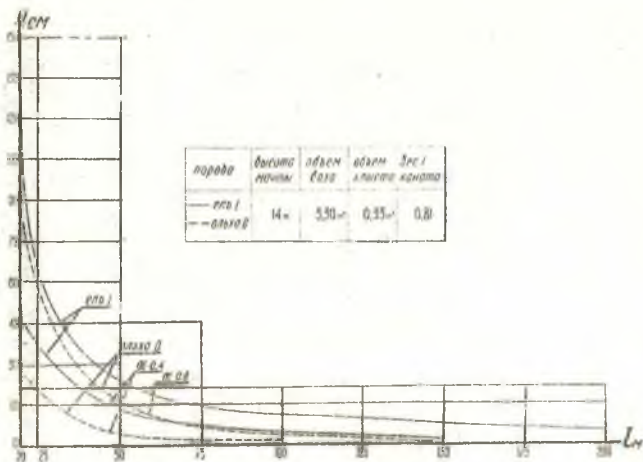


Рис.4. Траектория движения вершин воев ели I и ольхи II при коэффициентах  $K=0,4$  и  $K=0,8$ .

При трелевке на подъем величина прогиба вершин увеличивается, а при трелевке под уклон — уменьшается в сравнении с теми значениями, которые имеют место на горизонтальном волоке. Однако учитывая влияние различной высоты пней с надгорной и подгорной сторон, при трелевке под уклон условия проходимости хлыстов несколько улучшаются в той части волока, где действуют сравнительно малые подъемные силы, то есть на расстояниях от мачты 70–80 м и дальше.

На основании натуральных наблюдений построены кривые нормального распределения коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$  беспрепятственных проходов воем пней в зонах наземной и полуподвешной трелевки. Доверительные границы коэффициентов проскальзывания, определе-

ные по формуле Лапласа с надежностью  $\delta = 0,95$ , составили:

при полуподвесной трелевке:

$$0,36 < K_T = 0,373 < 0,40;$$

при наземной трелевке:

$$0,156 < K_2 = 0,161 < 0,166$$

Кроме того, построены интегральные кривые распределения  $K_T$  и  $K_2$ , которые позволяют определять их величину, задавшись процентом обеспеченности.

Средние затраты времени на высвобождение зацепившегося воя при коэффициенте устойчивости  $\lambda = 3$  составляют 2,81 мин.

В главе V - "МЕТОДИКА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ТИПА ТРЕЛЕВОЧНОЙ УСТАНОВКИ" изложен порядок технико-экономического анализа условий проходимости хлыстов при трелевке установками с одной горизонтальной начтой (ТНУ-ЗС) и установкой с несущим канатом (ТПК-1).

На основании технико-экономических расчетов определяется переменная часть стоимости трелевки 1 м<sup>3</sup> древесины, обусловленная количеством зацепов на данной лесосеке, затратами рабочего времени на высвобождение зацепившихся воя и стоимостью монтажно-демонтажных работ.

При трелевке установкой без несущего каната нами выделены три зоны проходимости: зона А - беспрепятственной трелевки, где высота подъема вершин выше средней высоты пней, зона Б полуподвесной трелевки и зона В наземной трелевки. (Рис. 5.). В качестве пограничного признака, разделяющего зоны Б и В принято начало обрыва вершинной части воя от грунта, то есть высота подъема вершин, равная 5-6 см.

Технико-экономический анализ проходимости хлыстов при трелевке установкой без несущего каната производится в такой последовательности. Пользуясь корреляционным уравнением (61),

вычисляется величина подъемной силы  $P_1$ , которую надо приложить к возу хлыстов, чтоб поднять его вершинную часть на высоту "у", равную высоте пней:

$$P_1 = n \left( \frac{mq_k + \delta}{1 - k(\pi)} \right) \cdot \frac{(\lg Y - \lg C)}{\lg e} \quad (75)$$

По величине подъемной силы  $P_1$ , весу воза  $G$  и коэффициенту сопротивления движению ( $\pi$  определяется тангенс угла  $\alpha$  составленного волоком и касательной к тяговому канату:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{P_1}{\pi(G - P_1)} \quad (79)$$

после чего находится расстояние от мачты, где вершинная часть воза будет поднята на высоту  $Y$  :

$$L_1 = \frac{\sqrt{G\pi[G\pi \sin^2 \alpha + 2qh(\cos \alpha + \pi \sin \alpha)] - G\pi \sin \alpha}}{q(1 + \pi \operatorname{tg} \alpha)} \quad (85)$$

Радиус зоны А определяется с учетом попадания на ее границу вершин деревьев, спиленных в полукольцевой полосе зоны Б:

$$r_1 = L_1 + H \cos \beta \quad (86)$$

где  $H$  - высота древостоя;

$\beta$  - угол между направлением повала деревьев и волоком (в зоне А  $\beta = 0$ ).

Радиус  $r_2$  зоны Б вычисляется аналогичным образом, причем в уравнение (75) подставляется в данном случае  $Y = 5$  см.

По найденным радиусам  $r_1$  и  $r_2$  определяются объемы древесины в зонах А, Б и В и через грузовую работу находится среднее расстояние трележки древесины из зоны В:

$$x_1 = \frac{R_A - R_{AB}}{Q_B} \quad (95)$$

где:  $R_n$  - грузосвая работа на всей лесосеке;  
 $R_{об}$  -  $0,6366 \sum_2 (Q_A + Q_B)$   
 $Q_A, Q_B, Q_B$  - запасы древесины в зонах А, Б и В.

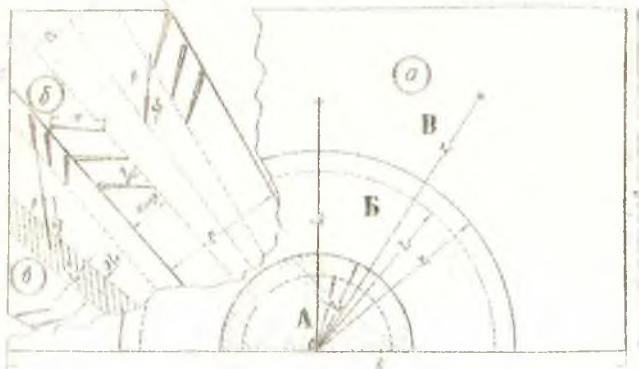


Рис.5. а) зоны проходимости на лесосеке;

б) схема сектора при треловке установкой без несущего каната;

в) схема сектора при треловке установкой с несущим канатом.

В зоне В половина средней ширины сектора может быть больше величины  $H \cos \beta$  и тогда при формировании воя будут наблюдаться зацепы отдельных хлыстов.

Ширина основания сектора для всей лесосеки вычисляется по полученной нами формуле

$$C_0 = \frac{4 a \delta}{n_c (a + \sqrt{a^2 + 0,25 \delta^2})} \quad (107)$$

где:  $n_c$  - количество секторов;  
 $a, \delta$  - стороны лесосеки (Рис.5)

Средняя ширина сектора в зоне В находится из выражения:



$$C = \frac{C_0 X_1}{2 L_{cp}} \quad (108), \text{ где}$$

$L_{cp}$  - среднее расстояние трелевки на всей лесосеке.

Для определения среднего расстояния между пнями на полосу движения воя при ширине его передней части, равной  $d\sqrt{\frac{q_8}{\varphi}}$ , нами получена следующая формула:

$$L_{np} = \frac{10000 q_x}{A d \sqrt{\frac{q_8}{\varphi}}} \quad (74), \text{ где}$$

$q_x$  - средний объем хлыста, м<sup>3</sup>;

$A$  - запас на га;

$d$  - диаметр вершины хлыста, м;

$n$  - количество хлыстов в вое;

$\varphi$  - коэффициент полнотравности вершинной части воя.

Общее количество зацепов на лесосеке найдется как частное от деления длины пути наземной и полуподвесной трелевки, а также путь подрелевки хлыстов к волоку на среднее расстояние между препятствиями:

$$Z_1 = \frac{A d}{10000 q_x} \left\{ \sqrt{\frac{q_8}{\varphi}} \left[ \frac{[x_1 - z_2 - 0,25(c - 2H \sin \beta) \operatorname{ctg} \beta](1 - K_2) Q_B}{q_8} + \frac{(z_2 - z_1)(1 - K_1)(Q_5 + Q_3)}{q_8} \right] + \frac{(c - 2H \sin \beta)(1 - K_2) Q_B}{4 q_x \sin \beta} \right\} \quad (120), \text{ где}$$

$0,25(c - 2H \sin \beta) \operatorname{ctg} \beta$  - проекция на волок среднего расстояния подрелевки в зоне В, которое составляет часть среднего расстояния  $X_1$ ;  $q_8$  - объем воя, м<sup>3</sup>.

$K_1$  - коэффициент проскальзывания при наземной трелевке;

$K_2$  - коэффициент проскальзывания при полуподвесной трелевке.

Если рабочий трелевочный канат проходит не посередине, а по границе сектора, то в числителе первого члена в квадратных скобках вместо  $0,25(c - 2H \sin \beta) \operatorname{ctg} \beta$  ставится

$0,5(c-H \sin \beta) \dot{c} \dot{q} \beta$ , а последняя дробь в фигурных скобках примет вид:  $\frac{(c-H \sin \beta)(1-K_2) Q_B}{2 q_x \sin \beta}$

Потери рабочего времени в сменах на высвобождение зацепившихся воев определяются из выражений:

$$m_n = \frac{2, t}{(T - t_{n3})} \quad (122), \text{ где}$$

$t$  - время на устранение зацепа;

$T$  - продолжительность смены в мин.

Общая оценка транспортных возможностей трелевочной установки в данных производственных условиях достигается введением коэффициента проходимости  $\omega$  :

$$\omega = \frac{m_p - m_n}{m_p} \quad (125), \text{ где}$$

$m_p$  - количество рабочих смен, затрачиваемых непосредственно на трелевку.

Сумма переменных затрат на трелевку древесины данной установкой определяется из выражения:

$$\sum C_i = (m_n + m_M) C_1 + M C_2 \quad (126), \text{ где}$$

$m_M$  - количество смен на монтажно-демонтажные работы, равное

$$m_M = \frac{M}{n_p} = \frac{N + (n_c - 1) N_1}{n_p} \quad (127)$$

$M$  - количество чел/см на все виды монтажно-демонтажных работ;

$n_p$  - количество рабочих в бригаде;

$N$  - трудозатраты на монтаж-демонтаж установки, ч/см;

$(n_c - 1)$  - количество переносов трособлочной системы из сектора в сектор;

$N_1$  - трудозатраты на перенос трособлочной системы, ч/см;

$Ц_1$  - стоимость машино-смены лебедки, руб;

$Ц_2$  - тарифная ставка рабочего с начислениями на зарплату, руб.

Если типы лебедок, их сменные производительности, а также численные составы бригад различны для обоих видов сравниваемых установок, то формула (126) примет вид:

$$\sum C_i = (m_p + m_n + m_m) C_1 + M C_2 + m_p (n_p C_3 + n'_p C_4) \quad (128)$$

где  $m_p$  - количество рабочих смен на трелевке;

$n_p, n'_p$  - количество рабочих, занятых на трелевке, а также на таких операциях как разворот и погрузка, если условия выполнения их различны для сравниваемых установок. Стоимость таких видов работ, которые не зависят от типа трелевочной установки (валка, обрубка сучьев) в формулу не включаются.

Денежные расходы, отнесенные к одному м<sup>3</sup> древесины, составят:

$$S_1 = \frac{\sum C_i}{Q_n} \quad (130)$$

Полуподвесные установки ТПК-1, при постоянном торможении канатки холостым канатом, могут обеспечивать беспрепятственное прохождение вожов по волокам, не исключая при этом возможности зацепов отдельных хлыстов во время сбора пачки, то есть при подтрелевке к волоку. Условия проходимости хлыстов при подтрелевке к волоку зависят кроме указанных выше факторов (запаса древесины на га, среднего объема хлыста, их гибкости, высоты цней, ширины сектора) и от высоты крепления несущего каната.

Расчеты проходимости хлыстов при подтрелевке их к несущему канату следует выполнять в такой последовательности,

пренебрегая стрелой провеса тягового каната, которая является в данном случае ничтожно малой, вычисляются ширина поярочные поярочы  $2L_0$  (см. рис. 5, в), где верхние массовые будут

проходить над препятствиями :

$$l_0 = \frac{h_1 - y}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (131), \text{ где}$$

$h_1$  - средняя высота расположения нагруженного каната, вычисляемая исходя из высоты опор и стрелы провеса каната на расстоянии от мачты, равном 1/3 длины пролета;

$\alpha$  - угол между канатом и вслоком (определен выше по формуле (79));

$y$  - высота пней.

Количество зацепов при формировании вояз на всей лесосеке определяется по формуле:

$$z_2 = \frac{Ad B_n (c - 2l_0 - 2H \sin \beta)(1 - K_1)}{40000 q_x^2 \sin \beta} \quad (136), \text{ где}$$

$B_n$  - коэффициент проскальзывания при полуподвесной трелевке (подтрелевка хлыстов к канату осуществляется полуподвесным способом).

$c$  - средняя ширина сектора на всей лесосеке;  $c = 0,5 C$ .

Коэффициент проходимости  $\omega$ , а также  $\Sigma C_2$  и  $S_2$  вычисляются по тем же формулам, что и для установки без несущего каната.

Сравнивая  $S_1$  и  $S_2$ , выбираем ту установку, которая обеспечивает в данных условиях меньшую стоимость трелевки 1 м<sup>3</sup> древесины.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ:

1. Главная особенность полуподвесных трелевочных установок - обеспечиваемая ими проходимость ввозов по волокам - не подвергалась до этого исследованиям. Отсутствие метода технико-экономического анализа условий проходимости не позволяло осуществлять выбор оптимального типа трелевочной установки, что приводит к экономическим просчетам и увеличению стоимости трелевки древесины.

2. В результате теоретических исследований нами количественно оценено влияние параметров установки, коэффициента сопротивления движению  $\mu$ , а также уклонов местности и направления трелевки относительно склона на величину подъемной силы, создаваемой полуподвесной трелевочной системой без несущего каната.

3. Трелевочные установки ТПК-I не позволяют без значительных затрат тягового усилия на торможение каретки передать на несущий канат нагрузку от вершинной части ввоза и тем самым эффективно реализовать несущую способность подвесного пути для обеспечения высокой проходимости хлыстов по волоку. Величина тормозной силы в зависимости от угла наклона тягового каната, веса ввоза и коэффициента сопротивления движению определяется по полученной нами формуле (44). В целях улучшения условий проходимости при трелевке установками с несущим канатом, а также для механизированной подачи чоковок к месту прицепки хлыстов, нами разработана принципиально новая автоматическая бесстыльная каретка с фиксацией на ней вершинной части ввоза.

4. Примененные при исследованиях гибкости хлыстов экспериментальные установки со специальными измерительными устройствами и современной регистрирующей аппаратурой позволили получить об-



ширный материал, на основании которого выведено универсальное корреляционное уравнение связи между прогибом вершины и поперечной подъемной силой в статике и в движении для ели I, П, IV, березы II, Ш, ольхи II.

5. Траектория движения приподнятых вершин воза при трелевке полуподвешной установкой с одной мачтой представляет гиперболическую кривую. Высота подъема вершин над грунтом зависит от многочисленных факторов - высоты мачты, среднего объема хлыста в возе, породы древесины, разряда высот, коэффициента сопротивления движению  $K$ , веса I пог.м тросового каната.

6. Увеличение среднего объема хлыста в возе, так же как и увеличение коэффициента сопротивления движению, приводят к увеличению высоты подъема вершинной части ввоза и, следовательно, положительно влияют на условия проходимости. Изменение объема ввоза практически не отражается на условиях проходимости.

7. Увеличение высоты мачты особенно существенно влияет на величину относительных изменений прогибов на малых расстояниях трелевки, что приводит к ощутимому увеличению радиуса зоны А сто процентной проходимости, и, следовательно, к уменьшению среднего расстояния наземного перемещения древесины из зоны В.

8. При трелевке на подъем величина прогиба вершин увеличивается, а при трелевке под уклон уменьшается в сравнении с теми значениями, которые имеют место на горизонтальном волоке. Однако в связи с различной высотой пня с надгорной и подгорной сторон, условия проходимости хлыстов при трелевке под уклон улучшаются.

9. Разработанный нами метод технико-экономического анализа проходимости хлыстов при полуподвешной трелевке лабедками позволяет решать следующие задачи:

-осуществлять выбор оптимального типа трелевочной установки для конкретных производственных условий;

-анализировать влияние на стоимость трелевки древесины каждого в отдельности фактора природных и производственных условий: среднего расстояния трелевки, ширины сектора, высоты пней, запаса древесины на га, среднего объема хлыста, а также параметров трелевочной установки;

- определять экономическую целесообразность тех или иных работ в области усовершенствования трелевочных установок;

- находить наиболее выгодную ширину сектора.

10. Наибольшее влияние на условия проходимости при трелевке установками без несущего каната оказывают средний объем хлыста, запас на га и площадь лесосек.

11. Изменение высоты низких пней (15-20 см) на одну и ту же величину, что и высоких (30-50 см), приводит к большим изменениям условий проходимости, потому что траектория движения вершин веза становится более пологой по мере удаления от мачты, а это влечет за собой существенное увеличение радиуса зоны беспрепятственной трелевки  $A$ .

12. Заболоченность лесосек, состав насаждений и связанная с ними форма карневой шейки пня влияют на проходимость хлыстов в зоне наземной трелевки и учитываются коэффициентом проскальзывания  $K_2$ .

13. Правильный выбор типа полуподвесной установки уменьшает стоимость трелевки древесины на заболоченных лесосеках Белоруссии до 6 коп/м<sup>3</sup>.

14. Для заболоченных лесосек Белоруссии площадью 8-12 га с ольховыми насаждениями при объеме хлыста 0,20-0,35 м<sup>3</sup> и запасе на га  $A=180-200$  м<sup>3</sup> наиболее выгодной является установка с

несущим канатом. На лесосеках площадью 5-7 га при тех же показателях следует применять установку без несущего каната.

15. Ввиду того, что на условия проходимости и связанную с ней стоимость трелевки древесины влияет большая совокупность факторов, которые могут находиться в самых различных сочетаниях, выбор оптимального типа трелевочной установки для конкретных производственных условий должен осуществляться на основе технико-экономического анализа проходимости хлыстов.

По диссертации опубликованы следующие работы автора:

✓1. "К вопросу трелевки хлыстов полуподвесными установками". Сборник трудов БТИ, 1967г.

✓2. "Экспериментальная установка для исследований полуподвесной трелевки хлыстов", Сборник трудов БТИ, 1967г.

✓3. "Прокладываемость хлыстов по волоку при трелевке полуподвесными установками с одной трелевочной мачтой". Сборник "Совершенствование техники и технологии производства", 1967г.

✓4. "Измерительная тележка для исследований полуподвесной трелевки". Сборник аспирантов, 1968 г.

5. "Автоматическая каретка для полуподвесной трелевки"- представлена заявка в Госкомитет по делам изобретений.

6. "Корреляционные уравнения прогибов вершин хлыстов". ( в печати). Сборник трудов БТИ, 1968 г.

7. "Метод выбора оптимального типа полуподвесной трелевочной установки"(в печати). Сборник трудов БТИ, 1968 г.

Основные вопросы диссертации докладывались на научно - технических конференциях Белорусского технологического института имени С.М.Кирова. 19-22 апреля 1967 г., 18-19 апреля 1968 г.