

634.0.3

П78

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Белорусский технологический институт имени С. М. Кирова

На правах рукописи

630\*375.4(048.3)

ПРОВТОРОВ Юрий Иванович

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ  
КОЛЕСНОГО ТРЕЛЕВОЧНОГО ТРАКТОРА  
С ПАЧКОЙ ХЛЫСТОВ**

05. 06. 02. «Машины и механизмы лесоразработок,  
лесозаготовок, лесного хозяйства и деревообрабатывающих  
производств»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск 1974

634.0.3  
178

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Белорусский технологический институт имени С. М. Кирова

На правах рукописи

ПРОВOTORОВ Юрий Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ  
КОЛЕСНОГО ТРЕЛЕВОЧНОГО ТРАКТОРА С ПАЧКОЙ ХЛЫСТОВ

3753 ар.

05.06.02. «Машины и механизмы лесоработок,  
лесозаготовок, лесного хозяйства и деревообрабатывающих  
производств» (05.420)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск 1974

БИБЛИОТЕКА БТИ  
ИМЕНИ С. М. КИРОВА

Работа выполнена в Центральном научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте механизации и энергетики лесной промышленности (ЦНИИМЭ).

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор Я. М. Певзнер.

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук, профессор В. В. Гуськов,

кандидат технических наук, доцент А. В. Жуков.

Ведущее предприятие — Овезский тракторный завод.

Автореферат разослан « 10 » . апреля . 1974 г.

Защита состоится « 14 » . июля . . . . . 1975 г.

в 10 часов на заседании Совета БТИ им. С. М. Кирова (220630, Минск-50, ул. Свердлова, 13а, ауд. 220, корпус 4).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь совета  
кандидат технических наук



Е. А. Грушевская

## ВВЕДЕНИЕ

Директивами XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства намечено существенное улучшение работы лесной промышленности на основе применения новых высокопроизводительных машин. Внедрение в производство колесных трелевочных и трелевочно-транспортных тракторов, отличающихся высокими технико-экономическими показателями открывает широкие перспективы их использования на лесозаготовках.

В ближайшие годы колесные тракторы найдут широкое применение как средство первичного транспорта леса, а также как база при создании других типов специальных лесных машин.

В нашей стране с 1963 года начали проводиться систематические работы по созданию отечественных колесных трелевочных тракторов для работы в условиях Сибири, Дальнего Востока и Европейской части СССР.

Производственные испытания таких колесных трелевочных тракторов, как К-703, Т-127, Т-157, КТЦ-1, показали, что они обладают рядом преимуществ при работе в лесу: высокие скорости, хорошая маневренность и т. п., но вместе с тем большинство из этих моделей тракторов показали невысокую проходимость и пониженную устойчивость даже на сравнительно небольших уклонах (10—12°).

Проявление такого недостатка при работе в специфических условиях леса, характеризующихся большим количеством естественных препятствий: пни, валуны, валежник и т. д., в зоне рекомендуемых для работы уклонов значительно сужает сферу использования таких машин, не обеспечивает необходимой безопасности работы водителя.

Выбор и обоснование параметров устойчивости машины, обеспечивающих при прочих равных условиях наиболее эффективные эксплуатационные показатели, является важной задачей проектирования колесных трелевочных тракторов, поскольку какой бы высокой проходимостью ни обладал трактор, как бы ни был он маневренен, какую бы транспортную скорость он ни развивал, но если он при всем этом будет иметь

недостаточную устойчивость, то такая машина не может работать в лесу. Поэтому устойчивость трелевочного трактора имеет важное значение при создании и эксплуатации колесных трелевочных тракторов.

Однако до сих пор не имеется хорошо аргументированных рекомендаций по выбору основных параметров трактора, влияющих на его устойчивость, и очень мало теоретических и экспериментальных работ в этой области.

Применяемые в настоящее время методы расчета устойчивости колесных трелевочных тракторов не учитывают их особенностей и технологического процесса, что дает весьма приближенные результаты. При расчетах действие динамических нагрузок на трактор, в особенности в процессе неустановившихся режимов работы, зачастую учитывается лишь коэффициентом динамичности, значения которого принимаются без должного обоснования по аналогии с машинами подобных типов, что вносит существенные неточности в расчетные показатели динамической устойчивости.

Поэтому в данной работе поставлена цель провести теоретическое и экспериментальное исследование статической и динамической устойчивости колесных шарнирно-сочлененных трелевочных тракторов при работе их в лесных условиях.

## **I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Специфика загрузки и характер транспортируемого груза предъявляют особые требования к устойчивости колесного трелевочного трактора. Трелевка пачки хлыстов колесным трактором в полуподвешенном или в полупогруженном положении создает неблагоприятные условия для сохранения устойчивости при работе в сложных лесных условиях.

Анализ работ ряда авторов, рассматривающих устойчивость различных транспортных средств, показал, что работы по определению устойчивости колесных трелевочных тракторов носят фрагментарный характер.

Исследованию отдельных вопросов устойчивости колесных тракторов как общего, так и лесного назначения посвящены работы отечественных ученых Е. Д. Львова, М. И. Медведева, В. Н. Болтинского, М. И. Зайчика, С. Ф. Орлова, А. М. Гольберга, И. И. Тренененкова, Е. Д. Чудакова, В. В. Гуськова, В. А. Горбачевского, М. П. Кононенко, С. А. Помогаева, В. Ф. Коновалова, Г. Ф. Магюхова, Ю. А. Пospelова, А. В. Жукова и др., а также работы НАМИ, НАТИ, МАМИ, МВТУ, ЛОЛТА, МЛТИ и ЦНИИМЭ.

Теоретические и экспериментальные вопросы устойчивости и управляемости машин с шарнирно-сочлененной рамой отражены в научных трудах В. М. Боглака, Е. Ю. Малиновского, С. Ф. Маршака, Н. А. Диятяна, Г. Л. Ратнера, Д. И. Ми-

тропана, А. Н. Халитова, Б. М. Тишина, Ю. А. Брянского, Д. Я. Шейниса, Ю. Ф. Устинова, С. Ю. Чульского и других ученых.

Однако следует отметить, что исследования, в которых рассматриваются вопросы устойчивости и управляемости шарнирно-сочлененных машин, практически не затрагивают сферы колесных трелевочных тракторов с шарнирной рамой.

Производственные сравнительные испытания колесных трелевочных тракторов с шарнирно-сочлененной рамой позволили установить, что в положении максимального складывания запас колесный трелевочный трактор имеет пониженный запас устойчивости, что отрицательно сказывается на эксплуатационных показателях трактора.

Методы исследований, разработанные для тракторов общего и сельскохозяйственного назначения, не могут быть полностью перенесены для исследований колесных трелевочных тракторов с шарнирной рамой в силу целого ряда специфических особенностей. В этой связи в настоящей работе предполагается аналитически и экспериментально исследовать статическую и динамическую устойчивость колесного трелевочного трактора при взаимодействии с пачкой хлыстов.

В соответствии с этим основными задачами исследования являлись:

1. Аналитическое исследование динамической устойчивости колесного трелевочного трактора при установившихся режимах работы.
2. Аналитическое исследование динамической устойчивости при переходных режимах работы колесного трелевочного трактора (трогание с места).
3. Экспериментальное исследование динамической устойчивости колесного трелевочного трактора при установившихся и переходных режимах работы.
4. Разработка рекомендаций по улучшению устойчивости колесного трелевочного трактора с шарнирно-сочлененной рамой.

## II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Теоретическое исследование устойчивости колесного трелевочного трактора проведено для трактора, транспортирующего пачку хлыстов по склону. Собственная устойчивость трактора определялась по известным методикам, так как устойчивость рассматриваемой конструкции в таком случае не отличается от существующих.

Наиболее вероятный случай потери устойчивости при движении трактора с пачкой по склону может быть при отрыве колес передней полурамы с дальнейшим опрокидыванием трактора вокруг оси колес задней полурамы, однако не

исключена возможность опрокидывания трактора на бок. Опрокидывание через переднюю ось невозможно, этому препятствует трельюемая пачка хлыстов. При низких коэффициентах сцепления колес трактора с опорной поверхностью не исключено сползание трактора.

В положении поворота условие устойчивости определяется полной разгрузкой одного из колес передней полурамы, хотя в этом положении трактор еще обладает некоторым запасом устойчивости, однако водитель по условию безопасности вынужден прервать выполнение начатой технологической операции.

Принимая за условие потери устойчивости  $R_{1n} = 0$  или  $R_{1n} = 0$ , рассмотрим основные факторы, определяющие устойчивость колесного трельючного трактора с шарнирной рамой в положении поворота при трельювке пачки хлыстов.

Величины сил, действующих на трактор от пачки хлыстов при установившемся движении по склону, определялись из следующих выражений:

$$N_x = G_x (k_1 \cdot \cos \beta + k_2 \cdot \sin \beta) \cdot \cos \mu; \quad (1)$$

$$N_y = G_x (k_1 \cdot \cos \beta + k_2 \cdot \sin \beta) \cdot \sin \mu; \quad (2)$$

$$N_z = G_x (k_3 \cdot \cos \beta + k_4 \cdot \sin \beta), \quad (3)$$

где

$$k_1 = \frac{(1-n) \cdot f_x}{1-f_x \cdot \operatorname{tg} \varphi}; \quad k_2 = \frac{1-n \cdot f_x \operatorname{tg} \varphi}{1-f_x \cdot \operatorname{tg} \varphi};$$

$$k_3 = \frac{n-f_x \cdot \operatorname{tg} \varphi}{1-f_x \operatorname{tg} \varphi}; \quad k_4 = \frac{(1-n) \cdot \operatorname{tg} \varphi}{1-f_x \cdot \operatorname{tg} \varphi};$$

$N_x, N_y, N_z$  — соответственно горизонтальная, вертикальная и боковая составляющие внешних сил, действующих на трактор;

$G_x$  — вес трельюемой пачки хлыстов;

$n$  — коэффициент, учитывающий вес трельюемой пачки хлыстов, приходящийся на трактор;

$f_x$  — коэффициент сопротивления волочению пачки хлыстов;

$\varphi$  — угол наклона пачки хлыстов к поверхности пути;

$\mu$  — угол отклонения тягового троса от продольной оси задней полурамы трактора.

Принимая за потерю устойчивости отрыв от поверхности пути разгруженного колеса трактора, величину тангенса угла уклона местности, на котором произойдет потеря устойчи-

ности передней полурамы трактора при равномерном движении с пачкой хлыстов, можно определить из выражения

$$\operatorname{tg} \beta_{1 \text{ пр}}^r = \frac{G_{\text{п}} \cdot A_1 + G_3 \cdot B_1 + 0,5 G_x [k_1 (U_x \cdot \cos \mu + U_y \cdot \sin \mu) + k_3 U_z]}{G_{\text{п}} \cdot A_2 + G_3 B_2 + 0,5 G_x [k_2 (U_x \cdot \cos \mu + U_y \cdot \sin \mu) + k_4 U_z]}, \quad (4)$$

где  $G_{\text{п}}$  — вес передней полурамы трактора;  
 $G_3$  — вес задней полурамы трактора;  
 $A_1, A_2, B_1, B_2, U_x, U_y, U_z$  — коэффициенты, определяемые конструктивными параметрами трактора и технологического оборудования.

Тангенс угла уклона местности, на котором произойдет потеря устойчивости задней полурамы трактора при равномерном движении с пачкой хлыстов, можно определить из выражения

$$\operatorname{tg} \beta_{2 \text{ пр}}^r = \frac{G_{\text{п}} \cdot A_3 + G_3 \cdot B_3 + G_x [k_1 (T_x \cdot \cos \mu + T_y \sin \mu) + k_3 T_z]}{G_{\text{п}} \cdot A_4 + G_3 \cdot B_4 + G_x [k_2 (T_x \cdot \cos \mu + T_y \sin \mu) + k_4 T_z]}, \quad (5)$$

где  $A_3, A_4, B_3, B_4, T_x, T_y, T_z$  — коэффициенты, определяемые конструктивными параметрами трактора и технологического оборудования.

Оценка влияния пачки хлыстов на устойчивость трактора производилась по соотношению тангенсов предельных углов устойчивости трактора с пачкой хлыстов и без пачки

$$P = \frac{\operatorname{tg} \beta_{\text{пр}}^r}{g \beta_{\text{пр}}}. \quad (6)$$

Это отношение показывает, в какой мере пачка хлыстов снижает устойчивость трактора, при этом устойчивость трактора зависит от таких величин, как объем трелюемой пачки хлыстов, сопротивление волочению, положение пачки относительно трактора, способ транспортировки и ряда других.

На рис. 1 показано изменение предельного угла устойчивости трактора К-703 от веса трелюемой пачки хлыстов при установившемся движении и различных коэффициентах сопротивления волочению пачки хлыстов.

Анализ изменения нагрузок на колесах трактора в зависимости от параметров пачки и условий движения проводился на ЭЦВМ с малым шагом изменения угла склона и угла складывания полурам. Он показал, что изменение вертикальных реакций на колесах полурам существенно зависит от этих факторов.



$h_2$  — высота центра тяжести задней полурамы;  
 $h_{ш}$  — высота горизонтального шарнира;  
 $B$  — колея трактора;  
 $g$  — ускорение свободного падения.

Выражение для определения критической скорости в случае одновременного сползания всех колес имеет вид

$$V_{\text{кр}}^2 = \sqrt{\frac{(\Sigma R_1 + \Sigma R_2) \cdot \varphi_c - (G_{п1} + G_3) \sin \beta - \frac{\sin \alpha}{L'} \left( \frac{G_{п1}}{g} + \frac{G_3}{g} \right)}{-N_y \cdot \cos \tau + N_x \sin \tau - \frac{\sin \alpha}{L'} \left( \frac{G_{п1}}{g} + \frac{G_3}{g} \right)}} \quad (8)$$

где  $\Sigma R_1$  — суммарные вертикальные реакции на передних колесах трактора;

$\Sigma R_2$  — суммарные вертикальные реакции на задних колесах трактора;

$\varphi_c$  — коэффициент сцепления колес трактора с грунтом;

$\tau$  — угол, определяющий направление движения трактора по склону.

Значения критических скоростей, рассчитанные по введенным формулам, представлены графиком (рис. 2).

С повышением рабочих скоростей наиболее опасным динамическим режимом с точки зрения потери устойчивости яв-

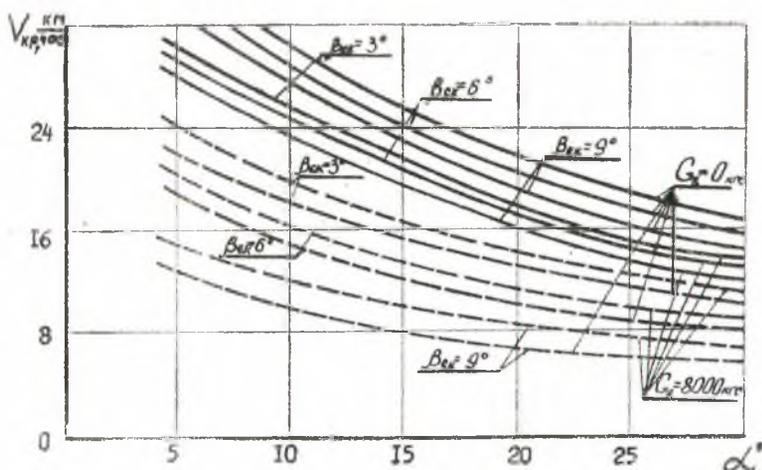


Рис. 2. Изменение критических скоростей движения трактора в зависимости от угла складывания полурам на различных склонах:

при  $\varphi_c = 0,2$   $f_x = 0,8$ ;

— — — критические скорости по сползанию;

— — — критические скорости по прокопыванию.

ляется трогание с места и разгон колесного трелевочного трактора с пачкой хлыстов.

Поэтому наиболее вероятным случаем динамической потери устойчивости колесным трелевочным трактором является момент трогания трактора с места в положении поворота с пачкой хлыстов.

Дифференциальное уравнение движения трактора на первом этапе трогания имеет вид

$$\frac{d^2S}{dt^2} + 2q \frac{dS}{dt} + d'^2S = \frac{K_T}{M} t, \quad (9)$$

где  $S$  — путь трактора на первом этапе трогания;

$M$  — масса трактора;

$d'$  — угловая частота;

$q$  — коэффициент затухания;

$K_T$  — темп трогания;

$t$  — текущее время.

Из решения этого уравнения найдены величины усилия в тяговом тросе при неподвижной пачке хлыстов.

Анализ показал, что колебания горизонтального усилия в связи трактор—пачка хлыстов интенсивно затухают и к концу первого этапа трогания закономерность изменения нагрузки приближается к линейной.

$$N_x = K \cdot t, \quad (10)$$

где  $K$  — темп нарастания усилия в связи.

Предельную величину силы сопротивления  $P_x$ , необходимую для срыва пачки хлыстов и начала волочения ее по наклонной поверхности пути, найдем из выражения

$$P_x = G_x \left[ \frac{(1-n) \cdot f_{x,n}}{1-f_{x,n} \cdot \operatorname{tg} \varphi} \cdot \cos \beta + \frac{1-n \cdot f_{x,n} \cdot \operatorname{tg} \varphi}{1-f_{x,n} \cdot \operatorname{tg} \varphi} \cdot \sin \beta \right] \times \\ \times \cos \mu + m_x \ddot{S}_x, \quad (11)$$

где  $m_x$  — масса пачки хлыстов;

$\ddot{S}_x$  — продольное ускорение пачки хлыстов.

Приравнявая  $P_x$  и  $N_x$ , определим время, необходимое для сдвигания пачки хлыстов при заданном темпе нарастания сил в связи

$$t_x = \frac{G_x}{K} \left[ \frac{(1-n) \cdot f_{x,n}}{1-f_{x,n} \cdot \operatorname{tg} \varphi} \cdot \cos \beta + \frac{1-n \cdot f_{x,n} \cdot \operatorname{tg} \varphi}{1-f_{x,n} \cdot \operatorname{tg} \varphi} \cdot \sin \beta \right] \times \\ \times \cos \mu + \frac{m_x \ddot{S}_x}{K}. \quad (12)$$

Время движения трактора до момента начала отрыва колес при линейно возрастающей нагрузке найдем из условия

полной разгрузки одного или обоих передних колес трактора из выражения

$$t_0 = \frac{G_n \cdot A_n + G_3 B_3 - (1-n) G_x \cdot \cos \beta_{\text{ок}} \cdot U_z \cdot \frac{1}{2B}}{K \cdot \frac{1}{2B} (U_x + U_y \cdot K_y + U_z \cdot K_z)}, \quad (13)$$

где  $A_n, B_3$  — коэффициенты, учитывающие геометрические параметры трактора;

$K_x, K_y, K_z$  — коэффициенты темпа нарастания внешних сил соответственно вертикальной, боковой и горизонтальной составляющих.

Найденные параметры  $t_x$  и  $t_0$  характеризуют динамическую устойчивость колесного трактора, так как зависят от величины и от характера внешних сил, действующих на трактор.

При этом возможны следующие условия:

1. Если  $t_x > t_0$ , то возможен кратковременный отрыв передних колес и начало опрокидывания.

2. Если  $t_x < t_0$ , то произойдет срыв хлыстов с места и начало их волочения.

3. Если  $t_x = t_0$ , то при трогании имеет место неустойчивое равновесие.

Рейсовую нагрузку, по условию устойчивости при трогании, определим из условия полной разгрузки одного или обоих передних колес трактора при трогании с места, а также из равенства времени, необходимого для сдергивания пачки хлыстов  $t_x$  и времени движения трактора до начала отрыва колес  $t_0$ .

$$G_x = \frac{G_n \cdot A_n + G_3 B_3}{K \cdot \frac{1}{2B} (U_x + U_y \cdot K_y + U_z \cdot K_z) \left\{ \left[ \frac{(1-n) \cdot f_{x,n}}{1 - f_{x,n} \cdot \operatorname{tg} \varphi} \cos \beta + \frac{1-n \cdot f_{x,n} \cdot \operatorname{tg} \varphi}{1 - f_{x,n} \cdot \operatorname{tg} \varphi} \cdot \sin \beta \right] + \frac{\dot{S}_x}{g} \right\} + (1-n) U_z \frac{1}{2B} \cos \beta}. \quad (14)$$

Рейсовая нагрузка по условию устойчивости, зависит от способа перемещения пачки хлыстов, а также от условий движения самого трактора. Анализ показал, что увеличение угла складывания полурам уменьшает величину рейсовой нагрузки (рис. 3), при которой возможно трогание без опрокидывания.

Для достижения максимальной производительности трактора рейсовая нагрузка должна быть максимальной по условиям движения, однако не должна вызывать потери устойчивости трактора при трогании с места при максимальном угле складывания полурам.

## Задачи и методика экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились с целью проверки основных теоретических положений и рекомендаций, а также получения необходимых исходных данных для аналитических расчетов.

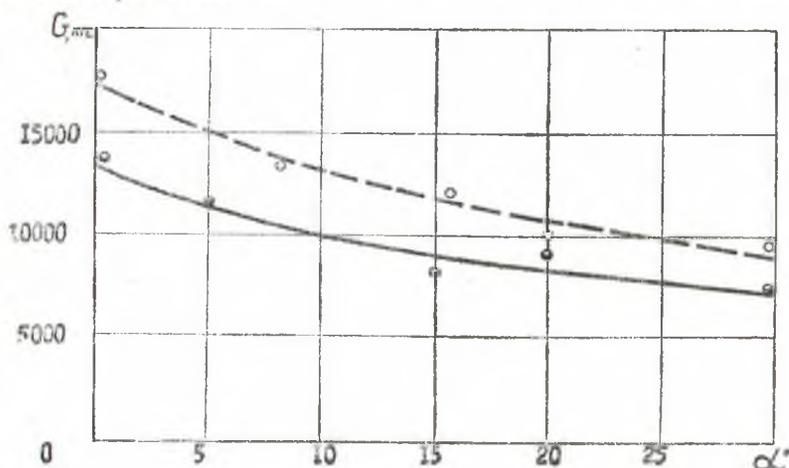


Рис. 3. Экспериментальная и расчетная зависимость предельного веса пачки хлыстов от угла складывания полурам при трогании с места трактора К-703 с пачкой хлыстов:

при  $f_x = 0,8$ ; — — —  $\beta_{ск} = 0^\circ$ ; —————  $\beta_{ск} = 5^\circ$ .

Задачами экспериментальных исследований являлись:

— определение углов собственной статической устойчивости трактора, а также углов статической устойчивости трактора с пачкой хлыстов;

— определение величин внешних нагрузок, действующих на трактор, при неустановившихся режимах движения и их составляющих;

— исследование влияния основных параметров пачки хлыстов на статическую и динамическую устойчивость трактора с шарнирной рамой;

— выявление характера процесса взаимодействия трактора и пачки хлыстов при трогании с места в натуральных условиях;

— определение влияния пачки хлыстов на динамику трогания трактора с места и возможности безопасного трогания трактора с места с пачкой хлыстов в повороте без опрокидывания;

— определение времени, необходимого для опрокидывания трактора при трогании, и времени, необходимого для сдергивания пачки хлыстов при трогании.

В конечном итоге проводилось сравнение результатов теоретической и экспериментальной частей исследований по статической и динамической устойчивости.

Объектом испытаний служил колесный трелевочный трактор К-703 с шарнирно-сочлененной рамой.

Для определения влияния пачки хлыстов на статическую и динамическую устойчивость трактора нагрузка варьировалась с помощью подобранных по весу пачек хлыстов.

Учитывая, что колесный трелевочный трактор предназначен для первичной транспортировки древесины в полуподвешенном или полупогруженном положении в условиях леса, в качестве основных фонов для проведения экспериментальных исследований были выбраны типичные для работы колесных тракторов лесные грунтовые дороги, участки пасечных и магистральных волоков с наличием порубочных остатков древесины преобладающих пород.

Для измерения необходимых параметров на тракторе К-703 устанавливались контрольно-измерительные приборы, с помощью которых на ленту осциллографа записывались следующие параметры: усилие в тросе, углы отклонения троса, угол складывания и поворота полурам, крутящие моменты на колесах трактора, нормальные реакции на колесах трактора, обороты колес, горизонтальное ускорение и пройденный трактором путь.

Все опыты проводились по единой методике, основные положения которой состояли в следующем: трогание трактора с пачкой хлыстов выполнялось с постепенно увеличивающейся нагрузкой при изменяющемся угле складывания полурам с доведением этих значений до условия опрокидывания при трогании.

Такая последовательность опытов позволила выявить предельные значения рейсовой нагрузки по условию динамической устойчивости трактора.

Для повышения достоверности экспериментальных данных опыты проводились не менее чем с трехкратным повторением, с последующей тщательной обработкой осциллограмм. Перед началом и после окончания испытаний все контрольно-измерительные приборы подвергались проверке и тарировке.

### III. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основе лабораторных исследований определены положение центра тяжести трактора и его полурам, основные линейные и весовые параметры машины и ее полурам и параметры пачки хлыстов.

Изменение основных показателей, определяющих нормальное трогание с места трактора с пачкой хлыстов  $12 \text{ м}^3$  представлено на графике рис. 4.

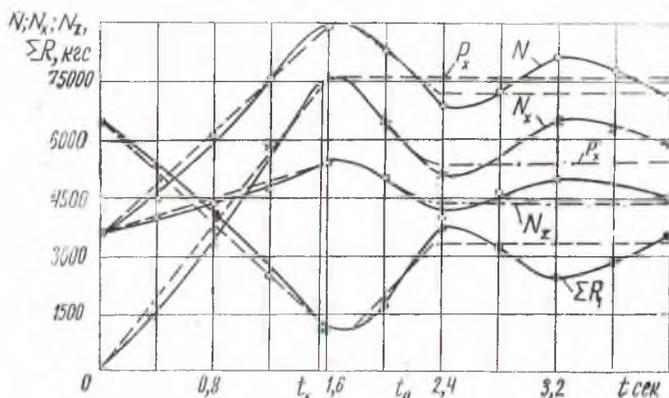


Рис. 4. Сравнение расчетных и экспериментальных значений составляющих усилий в тресе  $N$ ,  $N_z$ ,  $N_x$  и вертикальной нагрузки на передних колесах трактора при трогании с места и разгоне с пачкой хлыстов  $12 \text{ м}^3$ :

при  $\alpha = 0^\circ$   $K = 4700 \text{ кгс/сек}$ ;

--- расчетные; — экспериментальные

Исследование величин сил взаимодействия трактора с пачкой хлыстов на первом этапе трогания подтвердило линейный характер их изменения.

На графике рис. 5 приведены показатели, определяющие динамическое опрокидывание трактора при трогании с места с пачкой хлыстов  $14 \text{ м}^3$ .

Экспериментально подтверждено влияние темпа трогания угла складывания полурам, сопротивление волочению пачки хлыстов и других параметров на динамическую устойчивость колесного трелевочного трактора.

Анализ экспериментальных данных показал, что угол складывания полурам и объем трелеваемой пачки хлыстов существенно влияют на динамическую устойчивость трактора при трогании. Например, с пачкой хлыстов  $6800 \text{ кгс}$  трактор устойчив при трогании с места на ровной лесной дороге во всем диапазоне складывания полурам. При весе пачки хлыстов  $10800 \text{ кгс}$  диапазон складывания полурам ограничен  $\pm 20^\circ$ , а при весе пачки  $17500 \text{ кгс}$  и выше трактор не имеет возможности трогания без опрокидывания, даже при соосном положении полурам во всех случаях  $f_{x.п} = 0,8$ ;  $K = 5000 \text{ кгс/сек}$ . Упругая связь между трактором и пачкой хлыстов, как показали эксперименты, имеет нелинейную прогрессивную характеристику, которая допускает в начальный период большую деформацию связи при относительно малых действующих усилиях.

Упругая связь в системе трактор—пачка хлыстов обладает хорошими демпфирующими свойствами во всем диа-

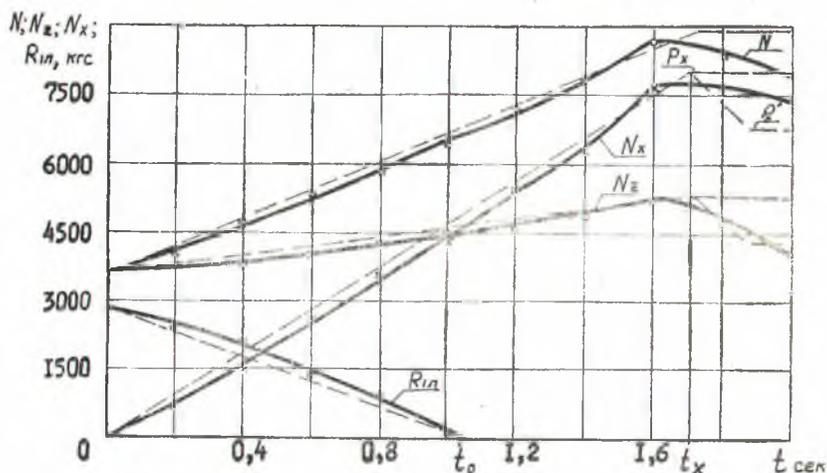


Рис. 5. Сравнение расчетных и экспериментальных значений составляющих усилия в тросе  $N$ ,  $N_z$ ,  $N_x$  и вертикальной нагрузки на переднем левом колесе при трогании с места с пачкой хлыстов  $14 \text{ м}^3$ :

\* —  $16^\circ$ ;  $K = 4700 \text{ кгс/сек}$ . Трогание сопровождается опрокидыванием.  
 --- — расчетные; — — — экспериментальные.

пазоне возможных колебаний системы за счет больших потерь на внутреннее трение между хлыстами. В работе экспериментально установлена зависимость изменения упругой характеристики связи от объема пачки хлыстов.

Динамические нагрузки при нормальном режиме трогания трактора с места с пачкой хлыстов превышают нагрузки в тросе при установившемся режиме движения в 1,15—1,45 раза.

Экспериментально установлено, что на величину нагрузки в тросе оказывают влияние дорожные условия, весовые параметры пачки хлыстов и темп трогания.

Максимальные нагрузки в тросе зафиксированы при резком трогании. Они в 1,8—2 раза превышают нагрузки при установившейся скорости движения.

Анализ экспериментальных данных показал, что при установившихся скоростях движения 8—9,5 км/час с пачкой хлыстов оптимального объема  $12 \text{ м}^3$  при сопротивлении волочению  $f_x = 0,8$  трактор К-703 не теряет устойчивости во всех направлениях движения на склонах до  $9^\circ$  при максимальном угле складывания полурам.

Экспериментально подтверждено, что нормальные нагрузки на передних колесах трактора, определяющие устойчи-

вость колесного трелевочного трактора, в значительной мере зависят от угла складывания полурам и величины усилия в тросе. Например, при трелевке пачки весом 15000 кгс за вершины при установившемся движении по ровной грунтовой дороге, где сопротивление волочению пачки хлыстов равно  $f_x = 0,6$ , при максимальном угле складывания полурам  $\alpha = 35^\circ$  может наступить полная разгрузка одного из колес передней полурамы трактора.

Материалы экспериментальных исследований показали, что величина нормальных реакций на передних колесах трактора К-703 в большей мере зависит от горизонтальной составляющей усилия в тросе, чем от вертикальной.

Полученные экспериментальные зависимости нормальных реакций от угла складывания полурам при различных объемах трелеваемой пачки хлыстов близки к расчетным.

Ниже в таблице приводится сравнение аналитических и экспериментальных показателей  $t_x$  и  $t_0$ , характеризующих динамическую устойчивость трактора К-703 при трогании с места с пачкой хлыстов на уклоне  $\beta_{ск} = 0^\circ$  при  $f_x = 0,8$ .

Приведенные в таблице результаты экспериментальной и аналитической оценки динамической устойчивости К-703 показывают, что предложенные критерии позволяют определить динамическое состояние трактора при трогании с места с пачкой хлыстов, а также оценить влияние параметров трактора и пачки хлыстов на процесс трогания.

Выполненные исследования позволили рекомендовать ряд мероприятий по повышению динамической устойчивости колесного трелевочного трактора с шарнирно-сочлененной рамой.

Экспериментальные исследования по определению динамической устойчивости при трогании с места проводились для модели трактора К-703 с серийной трансмиссией и с гидротрансмиссией. Это позволило выявить принципиальную возможность улучшения динамической устойчивости трактора при трогании с места с пачкой хлыстов за счет применения гидротрансмиссии.

Экспериментальная оценка увеличения рейсовой нагрузки за счет повышения динамической устойчивости при применении гидротрансмиссии показала, что рейсовая нагрузка может быть увеличена на 4—10%.

Блокировка горизонтального шарнира на период трогания также позволяет улучшить динамическую устойчивость трактора в положении поворота, увеличить его рейсовую нагрузку на 10—15% и тем самым повысить производительность трактора.

Осуществление комплекса рекомендованных в данной работе мероприятий, повышающих устойчивость колесного тре-

Вес пачки хлыстов $G_x$ , кгс	Темп нарастания усилия в тросе $K$ , кгс/сек	Угол складывания полурам $\alpha$ , град.	Результаты расчета			Результаты эксперимента	
			время движения трактора до начала отрыва на колесах $t_0$ , сек	время, необходимое для сдвигания пачки хлыстов $t_x$ , сек	оценка устойчивости	время движения трактора до начала опрокидывания $t_0$ , сек	оценка устойчивости
9600	4500	$0^\circ$	2,2	1,58	Трогание устойчиво	—	Трогание устойчиво
11200	4200	$8^\circ$	1,45	1,75	Трогание неустойчиво	1,5	Кратковременный отрыв передних колес
9600	5000	$30^\circ$	0,85	1,35	Трогание неустойчиво	0,8	Отрыв колеса передней оси
11200	4500	$16^\circ$	1,05	1,80	Трогание неустойчиво	1,0	Отрыв колеса передней оси

левочного трактора позволяет создать высокоустойчивый колесный трактор для трелевки древесины на склонах до 12—15°.

Увеличение устойчивости колесного трелевочного трактора на основании рекомендаций, явившихся результатом работы, дает возможность повысить его экономическую эффективность и создать благоприятные условия для безопасной работы водителя.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. В результате теоретического исследования, в настоящей работе получен ряд аналитических уравнений, которые позволяют в зависимости от различных факторов оценивать устойчивость колесного трелевочного трактора, при транспортировке пачки хлыстов.

2. Выявлена закономерность и получены аналитические зависимости для определения распределения вертикальных реакций на колесах трелевочного трактора в положении поворота.

Полученные значения вертикальных реакций на каждое колесо в зависимости от угла складывания полурам указывают на значительное перераспределение реакций на колесах трактора. Установлено, что перераспределение нагрузок между осями и колесами трактора, уменьшение нагрузки на переднюю ось и увеличение на заднюю происходит в основном от действия трелеваемой пачки хлыстов.

Перераспределение вертикальных реакций на передних колесах трактора на крутом повороте с пачкой хлыстов может привести к потере управляемости, либо к потере устойчивости, что сопровождается отрывом одного или обоих передних колес трактора от поверхности пути.

3. Полученные в работе аналитические зависимости позволяют дать количественную и качественную оценку критическим скоростям движения трактора с пачкой хлыстов по условиям опрокидывания и сползания колесного трелевочного трактора при движении по склону при постоянном угле складывания полурам.

4. Анализ теоретических и экспериментальных данных, полученных при исследовании устойчивости шарнирно-сочлененного колесного трелевочного трактора К-703 с пачкой хлыстов, выявил, что трактор без потери устойчивости может производить трелевку оптимальной пачки объемом 12 м<sup>3</sup> при сопротивлении волочению  $f_x = 0,8$  во всех направлениях на склонах до 9°, на скоростях до 8—9,5 км/час, при максимальном угле складывания полурам.

5. Теоретическое и экспериментальное исследование динамической устойчивости трактора К-703 с пачкой хлыстов

при трогании с места, как при наиболее опасном неустановившемся режиме работы трактора, показало, что полученные в работе аналитические зависимости могут быть использованы при определении показателей динамической устойчивости колесных трелевочных тракторов с шарнирно-сочлененной рамой. Это подтвердил сравнительный анализ расчетных и экспериментальных данных.

6. Исследование устойчивости колесного трелевочного трактора с пачкой хлыстов показало, что угол складывания полурам оказывает существенное влияние на устойчивость трактора. Поэтому оценку возможности работы трактора К-703 в заданных условиях необходимо проводить, исходя из условия обеспечения устойчивости трактора, при резком трогании с места, когда  $K > 5300 \text{ кгс/сек}$  при максимальном угле складывания полурам.

7. Динамическая устойчивость колесного трелевочного трактора К-703 при трогании с места на ровном участке пути при  $\dot{x}_{\text{н}} = 0,8$  с пачкой хлыстов объемом  $10 \text{ м}^3$ ;  $12 \text{ м}^3$ ;  $14 \text{ м}^3$  соответственно обеспечивается при углах складывания полурам  $36^\circ$ ;  $24^\circ$ ;  $13^\circ$  и при темпе нарастания сил в связи трактор-пачка хлыстов,  $K = 5300 \text{ кгс/сек}$ .

При уставившемся движении в тех же условиях устойчивость обеспечивается при углах складывания полурам на  $36^\circ$  при трелевке пачек хлыстов объемом  $10 \text{ м}^3$ ;  $12 \text{ м}^3$ ;  $14 \text{ м}^3$ .

8. Экспериментальные исследования динамической устойчивости подтвердили установленную расчетным путем возможность потери устойчивости на ровном участке пути при трогании с места с пачкой хлыстов весом  $G = 17500 \text{ кгс}$  при темпе трогания  $K = 5300 \text{ кгс/сек}$ , при  $\dot{x}_{\text{н}} = 0,8$  в положении наибольшего угла складывания полурам  $\alpha = 36^\circ$ .

9. Качественный анализ параметров, характеризующих динамическую устойчивость трактора при трогании (время, необходимое для опрокидывания  $t_0$ ; время, необходимое для сдвигивания пачки хлыстов,  $t_x$  и значения вертикальных реакций на колесах), выявил, что с увеличением темпа трогания, угла складывания полурам, веса пачки хлыстов, сопротивления их волочению имеет место снижение динамической устойчивости. При увеличении угла складывания полурам от нуля до максимума предельная рейсовая нагрузка по условию устойчивости снижается в 1,3—1,7 раза, в зависимости от условий перемещения пачки хлыстов.

10. Оценку динамической устойчивости колесного трелевочного трактора с пачкой хлыстов на первом этапе трогания следует производить по следующим условиям:

— если  $t_x > t_0$ , то возможен кратковременный отрыв и начало опрокидывания трактора;

— если  $t_x < t_0$ , то произойдет срыв хлыстов и начало их волочения;

— если  $t_x = t_0$ , то имеет место неустойчивое равновесие системы.

11. Для повышения показателей устойчивости рекомендуется на колесном трелевочном тракторе устанавливать арку с возможностью регулировать ее высоту и вынос за заднюю ось трактора. С целью снижения динамических нагрузок, действующих на трактор от пачки хлыстов при неустановившихся режимах работы, горизонтальный ролик арки следует устанавливать на уступе основания.

12. Для повышения динамической устойчивости колесного трелевочного трактора при трогании с места в силовой передаче трактора целесообразно устанавливать гидротрансформатор и иметь устройство, обеспечивающее блокировку горизонтального шарнира рамы на период трогания. При эксплуатации трактора в зонах с повышенной опасностью по потере устойчивости следует производить раскорчевку и расчистку пути движения трактора.

13. Осуществление мероприятий, повышающих устойчивость колесного трелевочного трактора, рекомендованные в данной работе, позволит создать трактор для трелевки древесины на склонах до  $12-15^\circ$ . Полученные данные и методика оценки устойчивости колесного трелевочного трактора могут войти в основу создания и конструирования высокоустойчивых колесных трелевочных тракторов.

14. Полученные в диссертационной работе результаты исследований использованы: при разработке дополнения к техническому заданию на проектирование трелевочного трактора К-703, в соответствии с которым ленинградский Кировский завод устанавливает на К-703 арку высотой 2,5 м вместо установленной на макетных образцах арки высотой 3,8 м; при создании в ЦНИИМЭ экспериментальных образцов лесных колесных тракторов с различным технологическим оборудованием; при обосновании и разработке в ЦНИИМЭ проекта перспективного типажа колесных лесопромышленных тракторов; при нормировании рейсовой нагрузки при работе на уклонах.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Экспериментальное определение устойчивости трактора К-703. «Труды ЦНИИМЭ», сб. 121, 1971 (в соавторстве), с. 112—120.

2. Вертикальные реакции на колесах трелевочного трактора с шарнирной рамой в положении поворота. «Труды ЦНИИМЭ», сб. 121, 1971, с. 76—82.

3. Результаты экспериментальных исследований динамической устойчивости колесного трелевочного трактора К-703. Тезисы докладов III научно-технической конференции аспи-

рантов и молодых специалистов лесной промышленности, Химки, 1971, с. 12—13.

4. Экспериментальное определение упругих и демпфирующих характеристик крупногабаритных шин низкого давления. «Труды ЦНИИМЭ», сб. 121, 1971 (в соавторстве), с. 93—97.

5. Динамическая устойчивость колесного трелевочного трактора. «Тезисы докладов участников IV научно-технической конференции аспирантов и молодых специалистов лесной промышленности». Лесосечные и транспортные работы. Химки, 1973, с. 61—62.

6. Результаты экспериментальных исследований динамической устойчивости колесного трелевочного трактора К-703. ВНИИЭИЛеспром депонированная рукопись № Д 720022, с. 1—7.

7. Взаимодействие колесного трелевочного трактора и пачки хлыстов при трогании с места. «Труды ЦНИИМЭ», сб. 129, 1973, с. 50—55.

8. Динамическая устойчивость колесного трелевочного трактора при трогании с пачкой хлыстов. «Труды ЦНИИМЭ», сб. 132, 1973, с. 116—122.

9. К вопросу трогания с места колесного трелевочного трактора с пачкой хлыстов. «Труды ЦНИИМЭ», сб. 132, 1973, с. 109—115.

10. Эксплуатация колесных тракторов. «Лесная новь», 1972, № 7, с. 15.

11. Приспособление для полуподвесной трелевки леса. Бюллетень изобретений № 9, 1972. Авторское свидетельство № 330996.

12. Устройство для трелевки леса. Бюллетень изобретений № 36, 1972. Авторское свидетельство № 356189 (в соавторстве).

13. Колесный трактор для трелевки леса. Бюллетень изобретений № 46, 1973. Авторское свидетельство № 406775.

14. Устройство для трелевки леса. Бюллетень изобретений № 5, 1974. Авторское свидетельство № 413917.

15. Устройство для трелевки леса. Бюллетень изобретений № 5, 1974. Авторское свидетельство № 413918.

Результаты исследований докладывались и обсуждались на III, IV научно-технических конференциях аспирантов и молодых специалистов лесной промышленности в 1971 г. и 1973 г. ЦНИИМЭ, г. Химки, на научной конференции Марийского политехнического института имени М. Горького в 1974 г.

Просим Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями направлять по адресу: 220630, Минск-50, ул. Свердлова, 13а, БТИ им. С. М. Кирова, Ученый совет.

Провоторов Юрий Иванович.

Исследование устойчивости колесного трелевочного трактора с пачкой хлыстов.

---

Бумага 60×90 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	Подписано к печати 7/X-74 г.	Л-121016
Тираж 150	Печ. л. 1,5	Заказ 560

---

Типография ЦНИИМЭ