

**К ОЦЕНКЕ ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ДВИЖЕНИИ
НА ВЫРУБКАХ КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА С РЕКУПЕРАТИВНОЙ
НАВЕСНОЙ СИСТЕМОЙ И НАВЕСНЫМ ОРУДИЕМ В
ТРАНСПОРТНОМ ПОЛОЖЕНИИ**

Савинков М.А.

*Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*

**TO ASSESS THE LONGITUDINAL STABILITY OF A WHEELED
TRACTOR WITH A REGENERATIVE HITCH SYSTEM AND A
MOUNTED TOOL IN THE TRANSPORT POSITION**

Savinkov M.A.

*Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

Аннотация: Рассмотрены условия и особенности работы на вырубках колесного трактора, оснащенного рекуперативной навесной системой в агрегате с усовершенствованным навесным лесным дисковым культиватором, предложена более точная методика расчета максимального угла уклона при движении исследуемого колесного трактора с находящимся в транспортном положении навесным орудием, определены максимальный угол уклона и коэффициент запаса продольной устойчивости рассматриваемого агрегата, обеспечивающие ему надежную и эффективную работу на вырубке.

Abstract: The article discusses the conditions and features of working on clearings with a wheeled tractor equipped with a regenerative mounted system in combination with an improved mounted forest disc cultivator. A more accurate method for calculating the maximum slope angle when the studied wheeled tractor is moving with the mounted tool in the transport position is proposed. The maximum slope angle and the longitudinal stability factor of the considered unit are determined, ensuring reliable and efficient operation on clearings.

Ключевые слова: продольная устойчивость, колесный трактор, вырубка, лесной дисковый культиватор, расчет угла уклона, коэффициент устойчивости.

Keywords: longitudinal stability, wheeled tractor, logging, forest disc cultivator, slope angle calculation, stability coefficient.

При лесовосстановлении на лесных объектах (вырубках, гарях, терассах, рекультивируемых землях и др.) используются преимущественно навесные орудия, агрегатируемые с колесными тракторами соответствующего тягового класса. Лесные объекты насыщены различными препятствиями в виде пней, поверхностных корней, кочек, порубочных остатков, валунов, выходов скаль-

ных пород и др. Обрабатываемая поверхность таких объектов часто отличается неровностями в виде холмов, оврагов и косогоров. При этом, как правило, лесные объекты располагаются на удалении друг от друга, вследствие чего почвообрабатывающие агрегаты перед началом работы перемещаются своим ходом к местам выполнения технологических операций, а также вынуждены часто совершать непроизводительные повороты в конце борозды, а также переходы с участка на участок. Такие случаи составляют по разным оценкам от 15 до 25 % производственного времени и характеризуются тем, что навесные орудия находятся в транспортном положении навесного устройства. Все это предъявляет повышенные требования к обеспечению безопасной и производительной работы агрегатов на лесных объектах. Результаты многочисленных исследований свидетельствуют, что наибольшее влияние на безопасную работу агрегатов с поднятыми в транспортное положение орудиями на вырубках оказывает продольная устойчивость трактора и особенно случаи движения агрегата по уклону вверх, при которых вероятность его опрокидыванию назад существенно повышается. Существующие методики расчета продольной устойчивости все еще не в полной мере учитывают влияние сил, действующих на почвообрабатывающие агрегаты, находящиеся в транспортном положении и движущиеся вверх по уклону [1-3]. В связи с этим очевидно, что правильные оценка продольной устойчивости и комплектование, с учетом особенностей лесных объектов, заметно влияют на безопасность и общую производительность почвообрабатывающих агрегатов на лесных объектах [4, 5].

При лесовосстановлении наибольшие объемы работы приходятся на операции по уходу за лесными культурами на вырубках, выполняемых в соответствии с рекомендуемыми нормативами втрое в течение трех лет. В этой связи выполним расчеты по оценке продольной устойчивости почвообрабатывающего агрегата в составе колесного трактора МТЗ-82.1 тягового класса 15 кН, оснащенного разработанными учеными ВГЛТУ рекуператорной навесной системой трактора и усовершенствованной конструкцией лесного дискового культиватора, что заметно улучшило его технико-экономические показатели (рис. 1) [6, 7]. При этом принятый по тяговому классу колесный трактор гарантированно обеспечивает работу усовершенствованного культиватора на вырубках, рабочее сопротивление которого не превышает 10 кН. Разработанная рекуперативная навесная система трактора позволяет заметно повысить транспортную скорость движения агрегата, его маневренность и проходимость на вырубках за счет демпфирования динамических нагрузок и обеспечения возможности перекосов рамы культиватора в поперечно вертикальной плоскости при наезде одной из дисковых батарей на препятствия. В тоже время изменение геометрических параметров и массы культиватора требуют проверки такого почвообрабатывающего агрегата на продольную устойчивость при его движении с поднятым в транспортное положение культиватором. При этом необходимо выполнить расчеты с целью проверки движения агрегата как на ровной поверхности, так и при его движении вверх на холмистой поверхности с определением максимального и безопасного угла уклона [8-11].

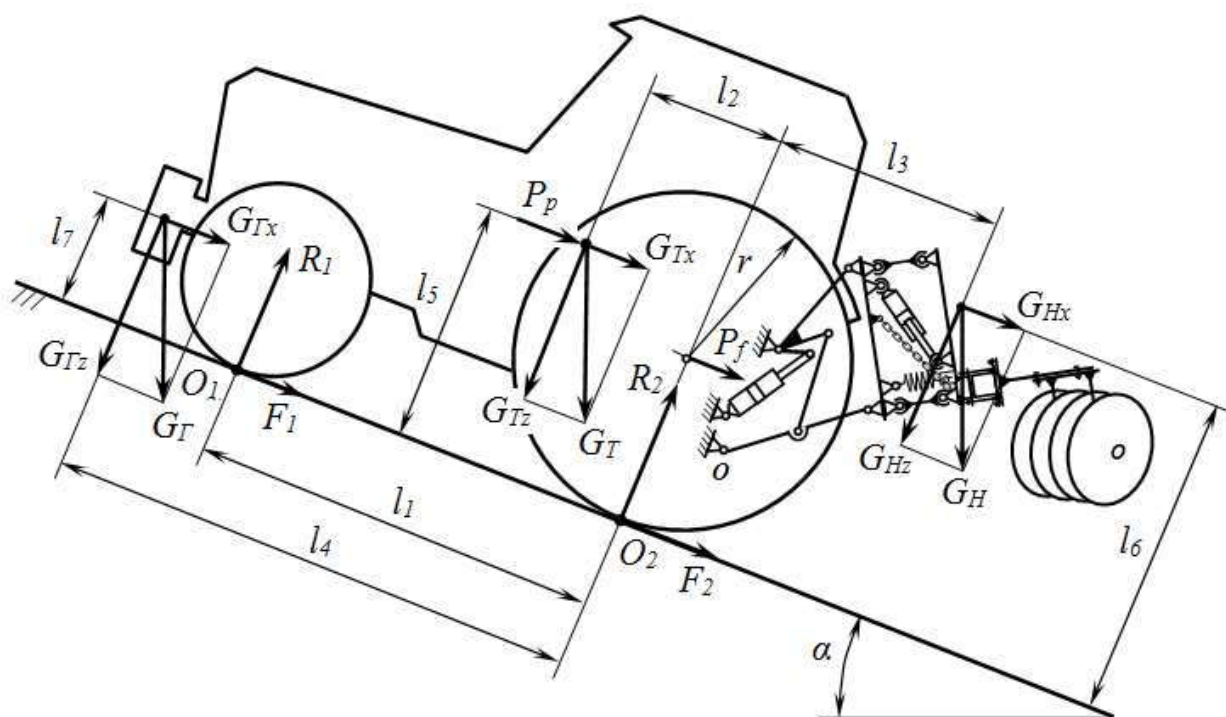


Рисунок 1 – Схема к расчету продольной устойчивости колесного трактора с рекуперативной навесной системой при движении вверх по уклону с лесным дисковым культиватором в транспортном положении

Проходимость и устойчивость, при движении по неровностям на лесных объектах рассматриваемого агрегата, характеризуются критическим углом α , при котором агрегат, движущийся вверх, начинает опрокидываться назад, то есть когда в начальный момент опрокидывания реакция на передних колесах будет равна $R_1 = 0$. При этом силы сопротивления качению F_1 и F_2 , соответственно передних управляемых и задних ведущих колес, вследствие их малости по сравнению с другими силами, в расчетах не учитываем. Тогда в соответствии с расчетной схемой (рис. 1) для предельного положения исследуемого агрегата уравнение суммы моментов сил, действующих относительно точки O_2 вращения системы ($\Sigma M_{O_2} = 0$), можно записать в виде:

$$\begin{aligned} & g \cdot G_{\Gamma} \cdot \cos \alpha \cdot l_4 - g \cdot G_{\Gamma} \cdot \sin \alpha \cdot l_7 + (g \cdot G_{\Gamma} + P_p) \cdot \cos \alpha \cdot l_2 - \\ & - (g \cdot G_{\Gamma} + P_p) \cdot \sin \alpha \cdot l_5 - g \cdot G_{\text{H}} \cdot \cos \alpha \cdot l_3 - g \cdot G_{\text{H}} \cdot \sin \alpha \cdot l_6 - P_f = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где G_{Γ} , G_{T} , G_{H} – массы груза, трактора и навесного культиватора, соответственно, кг; P_p – сила сопротивления агрегата разгону, Н; P_f – сила сопротивления трактора перекатыванию, Н; l_1 – продольная база трактора, м; l_2 – l_7 – горизонтальные и вертикальные плечи действия сил G_{Γ} , G_{T} , G_{H} , P_p , P_f , м.

В выражении (1) силы P_p и P_f способствуют отрыву передних колес при трогании, разгоне или торможении трактора и которые приближенно можно определить с помощью следующих выражений [2]:

$$P_p = \pm g (G_{\text{T}} + G_{\text{H}}) \cdot \delta \cdot a, \quad (2)$$

где g и a – ускорение свободного падения и ускорение агрегата, м/с²; δ – коэффициент учета вращающихся частей двигателя, трансмиссии и колес трактора, который приближенно можно определить по эмпирической формуле:

$$\delta = 1,04 + 0,05 \cdot u_k^2, \quad (3)$$

где u_k – передаточное отношение коробки передач трактора.

$$P_f = R_2 \cdot f = g (G_T + G_H) \cdot f \cdot r \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

где f – коэффициент сопротивления перекачиванию трактора; r – радиус ведущего колеса трактора.

После подстановки выражения (4) в выражение (1), деления последнего на $\cos \alpha$ и простейших преобразований получим в общем виде следующее выражение для определения угла α уклона при движении агрегата вверх

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{g \cdot G_T \cdot l_4 + (g \cdot G_T + P_p) \cdot l_2 - g \cdot G_H \cdot l_3 - g \cdot (G_T + G_H) \cdot f \cdot r}{g \cdot G_T \cdot l_7 + (g \cdot G_T + P_p) \cdot l_5 + g \cdot G_H \cdot l_6}. \quad (5)$$

С помощью выражения (5) и исходных данных были получены численным методом результаты расчетов параметров P_p , α , K_y исследуемого агрегата, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные и результаты расчетов

Исходные данные														Результаты		
G_T , кг	G_H , кг	l_1 , м	l_2 , м	l_3 , м	l_4 , м	l_5 , м	l_6 , м	l_7 , м	r , м	a , м/с ²	f	u_k	G_G , кг	P_p , Н	α , град.	K_y
4000	642	2,45	0,82	2,28	4	0,97	1,8	0,71	0,82	0,5	0,07	3,17	0	35029	29	0,45

Как следует из результатов расчета, максимальный угол уклона опорной поверхности при подъеме для рассматриваемого почвообрабатывающего агрегата составил 29°, что на много превышает рекомендуемое значение такого угла для колесных тракторов 8°.

Для оценки степени обеспечения продольной устойчивости рассматриваемого почвообрабатывающего агрегата, используем принимаемый в таких случаях коэффициент K_y запаса устойчивости, который обеспечивается выбором трактора, соответствующего по тяговому классу навесному орудию и (или) применением груза G_G , закрепляемого на раме в передней части трактора. В соответствии с известными рекомендациями значение этого коэффициента для колесных тракторов, в зависимости от условий их работы на горизонтальной поверхности, должно находиться в пределах 0,3-0,5. Определим K_y из следующего отношения моментов [2]:

$$K_y = M_{Ho2}/M_{To2}, \quad (6)$$

где M_{Ho2} и M_{To2} – моменты сил относительно опорной точки O_2 , создаваемые соответственно весом поднятого в транспортное положение навесного орудия, способного оторвать от опорной поверхности передние колеса трактора и противодействующих сил со стороны трактора и груза, Н/м.

Согласно расчетной схеме (рис. 1), выражение (6) можно представить в виде

$$K_y = \frac{g \cdot G_H \cdot l_3}{g \cdot G_T \cdot l_2 + g \cdot G_T \cdot l_4}. \quad (7)$$

После подстановки соответствующих значений параметров в выражение (7) и принимая при этом $G_T = 0$, получим величину коэффициента продольной устойчивости агрегата равной $K_y = 0,45$. Такое значение коэффициента K_y свидетельствует о гарантированной надежной работе рассматриваемого почвообрабатывающего агрегата при его движении на вырубке с поднятым в транспортное положение навесным дисковым культиватором даже без использования груза, что способствует снижению расхода топлива трактором.

Таким образом, принятое в расчетах агрегатирование предлагаемой рекуперативной навесной системы и усовершенствованного лесного дискового культиватора с колесным трактором тягового класса 15 кН обеспечивает надежную и эффективную работу такого почвообрабатывающего агрегата на вырубках, как в рабочем, так и в транспортном положениях.

Список литературы

1. Баранов А.И. Машины и механизмы для лесного хозяйства / А.И. Баранов. – М: Гослесбумиздат, 1962. – 380 с.
2. Нартов П.С. Проектирование и расчет лесохозяйственных машин: учеб. пособие / П.С. Нартов. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1980. – 192 с.
3. Синеоков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов – М: Машино-строение, 1977. – 328 с.
4. Посметьев В.И. Состояние и пути повышения эффективности почвообрабатывающих агрегатов при лесовосстановлении на вырубках: монограф. / В.И. Посметьев, В.А. Зеликов; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ Воронеж. гос. лестех. акад. – Воронеж, 2015. – 235 с.
5. Савинков М.А. Состояние и пути повышения эффективности лесных дисковых культиваторов на вырубках и гарях / М.А. Савинков, В.И. Посметьев, В.О. Никонов // Современный лесной комплекс страны: инновационные разработки и исследования: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 03 октября 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 54-62. – DOI 10.58168/MFCC2024_54-62.
6. Патент № 2830434 С1 Российская Федерация, МПК А01В 63/10, А01В 63/32. Навесная система трактора: № 2023136342: заявл. 30.12.2023: опубл. 19.11.2024 / В.И. Посметьев, М.А. Савинков, В.О. Никонов [и др.]; заявитель

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова».

7. Перспективы разработки рекуперативного навесного механизма трактора с приспособлением для агрегатирования его с лесными дисковыми орудиями / В.И. Посметьев, В.О. Никонов, М.А. Савинков, Е.В. Снятков // Проблемы эксплуатации и перспективы развития автомобильного транспорта: Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 05-06 октября 2023 года / Отв. редактор В.О. Никонов. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2023. – С. 101-111. – DOI 10.58168/OPPRTD_101-111.

8. Припоров Е.В. Повышение продольной устойчивости навесных агрегатов / Е.В. Припоров // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 5(15). – С. 115-119.

9. ГОСТ ISO 730-2019 Тракторы колесные сельскохозяйственные. Трехточечное заднее навесное устройство. Категории 1N, 1, 2N, 2, 3N, 3, 4N и 4. – Введ. 2020-08-01. – М: Стандартинформ, 2019. – 20 с.

10. ГОСТ 12.2.019-2015 Система стандартов безопасности труда. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности. – Введ. 2017-07-01. – М: Стандартинформ, 2019. – 20 с.

11. Кальбус Г.Л. Основы эксплуатации навесных систем тракторов: учеб. пособие / Г.Л. Кальбус. – Киев: Издательство Украинской Академии сельскохозяйственных наук, 1976. – 150 с.

References

1. Baranov A.I. Machines and mechanisms for forestry / A.I. Baranov. – M: Goslesbumizdat, 1962. – 380 p.

2. Nartov P.S. Design and calculation of forestry machines: textbook / P.S. Nartov. – Voronezh: Voronezh State University Publishing House, 1980. – 192 p.

3. Sineokov G.N. Theory and calculation of tillage machines / G.N. Sineokov, I.M. Panov – M: Mashinostroenie, 1977. – 328 p.

4. Posmetev V.I. Status and ways to improve the efficiency of tillage units in reforestation in clearings: monograph. / V.I. Posmetev, V.A. Zelikov; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, FGBOU Voronezh. state forestry academy. – Voronezh, 2015. – 235 p.

5. Savinkov M.A. Status and ways to improve the efficiency of forest disk cultivators in clearings and burnt-out areas / M.A. Savinkov, V.I. Posmetyev, V.O. Nikonov // Modern forest complex of the country: innovative developments and research: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference, Voronezh, October 3, 2024. – Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, 2024. – pp. 54-62. – DOI 10.58168/MFCC2024_54-62.

6. Patent № 2830434 C1 Russian Federation, IPC A01B 63/10, A01B 63/32. Tractor mounted system: № 2023136342: declared 30.12.2023: published 19.11.2024 / V.I. Posmetyev, M.A. Savinkov, V.O. Nikonov [et al.]; applicant Federal State

Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov».

7. Prospects for the development of a regenerative tractor mounted mechanism with a device for aggregating it with forest disk tools / V.I. Posmetyev, V.O. Nikonov, M.A. Savinkov, E.V. Snyatkov // Problems of operation and development prospects of automobile transport: Proceedings of the All-Russian scientific and technical conference, Voronezh, October 5-6, 2023 / Responsible. editor V.O. Nikonov. – Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, 2023. – pp. 101-111. – DOI 10.58168/OPPRTD_101-111.

8. Priporov E.V. Increasing the longitudinal stability of mounted units / E.V. Priporov // Innovations in agriculture. – 2015. – № 5 (15). – pp. 115-119.

9. GOST ISO 730-2019 Agricultural wheeled tractors. Three-point rear linkage. Categories 1N, 1, 2N, 2, 3N, 3, 4N and 4. – Introduced on 2020-08-01. – M: Standartinform, 2019. – 20 p.

10. GOST 12.2.019-2015 Occupational safety standards system. Tractors and self-propelled agricultural machines. General safety requirements. – Introduced on 2017-07-01. – M: Standartinform, 2019. – 20 p.

11. Kalbus G.L. Basics of operation of tractor mounted systems: textbook / G.L. Kalbus. – Kyiv: Publishing House of the Ukrainian Academy of Agricultural Sciences, 1976. – 150 p.