

УДК 630\*332

UDC– 630\*332

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РАБОТЫ АГРЕГАТА В СОСТАВЕ КОЛЁСНОГО ТРАКТОРА С ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИМ ОРУДИЕМ И ОБОРУДОВАНИЕМ ДЛЯ РАСЧИСТКИ ПОЛОС НА ВЫРУБКАХ**

**ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF OPERATION OF THE UNIT AS PART OF A WHEELED TRACTOR WITH A TILLAGE TOOL AND EQUIPMENT FOR CLEARING LANES IN REFORESTATION**

Алябьев Алексей Федорович

д.т.н., профессор

Scopus Author ID: 57208470075

РИНЦ SPIN-код: 6093-1882

*Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1*

[alyabiev@bmstu.ru](mailto:alyabiev@bmstu.ru)

Alyabiev Alexey Fedorovich

Dr.Sci.Tech., professor

Scopus Author ID: 57208470075

RSCI SPIN-code: 6093-1882

*Mytishchi branch Bauman Moscow State Technical University, Russia, 141005, Moscow region, Mytishchi, 1ya Institutskaya, 1*

[alyabiev@bmstu.ru](mailto:alyabiev@bmstu.ru)

Котов Алексей Александрович

д.т.н., профессор

Scopus Author ID: 57220509462

РИНЦ SPIN-код: 7846-4511

*Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1*

[kotov@bmstu.ru](mailto:kotov@bmstu.ru)

Kotov Alexey Alexandrovich

Dr.Sci.Tech., professor

Scopus Author ID: 57220509462

RSCI SPIN-code: 7846-4511

*Mytishchi branch Bauman Moscow State Technical University, Russia, 141005, Moscow region, Mytishchi, 1ya Institutskaya, 1*

[kotov@bmstu.ru](mailto:kotov@bmstu.ru)

Тазов Даниил Сергеевич

ассистент

*Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1*

[tazov.d@bmstu.ru](mailto:tazov.d@bmstu.ru)

Tazov Daniil Sergeevich

assistant

*Mytishchi branch Bauman Moscow State Technical University, Russia, 141005, Moscow region, Mytishchi, 1ya Institutskaya, 1*

[tazov.d@bmstu.ru](mailto:tazov.d@bmstu.ru)

В статье представлена оценка возможности работы агрегата на базе колёсного трактора класса тяги 1,4 и 2 при одновременном выполнении операций по обработке почвы или посадке растений и расчистки полосы от валежника и порубочных остатков. Оценка проводилась по необходимому тяговому усилию. На основании анализа существующих конструкций подборщиков сучьев и оборудования для полосной расчистки вырубок обоснован тип рабочего органа оборудования для расчистки. Рассмотрены два варианта работы рабочего органа оборудования: в режиме расчистки и при встрече с препятствием. Для каждого варианта работы определено необходимое тяговое усилие. На основании данных о ширине захвата почвообрабатывающего орудия определено необходимое количество рабочих органов оборудования для расчистки. В результате определено тяговое усилие необходимое для работы оборудования для расчистки. В результате был сделан вывод о возможности работы агрегата в составе колёсного трактора класса тяги 2, лесного плуга или лесопосадочной машины и

The article presents an assessment of the ability of the unit to operate on the basis of a wheeled tractor of traction class 1,4 and 2 while simultaneously performing tillage or planting operations and clearing the strip of dead wood and felling residues. The assessment was based on the required traction force. Based on the analysis of existing designs of branch pickers and equipment for strip clearing of cuttings, the type of working body of the clearing equipment is justified. Two options for the operation of the working body of the equipment are considered: in the clearing mode and when encountering an obstacle. The required traction force is determined for each operation option. Based on the data on the width of the tillage tool, the required number of working bodies of the equipment for clearing is determined. As a result, the tractive effort required for the operation of the clearing equipment has been determined. As a result, it was concluded that the unit could operate as part of a wheeled tractor of traction class 2, a forest plow or a planting machine and clearing equipment while simultaneously cultivating the soil and clearing the strip of dead wood and felling residues

оборудования для расчистки при одновременной обработке почвы и расчистке полосы от валежника и порубочных остатков

Ключевые слова: КОЛЁСНЫЙ ТРАКТОР, СОЗДАНИЕ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР НА ВЫРУБКАХ, РАСЧИСТКА ПОЛОС НА ВЫРУБКАХ, ОБРАБОТКА ПОЧВЫ, ПОСАДКА РАСТЕНИЙ

Keywords: WHEELED TRACTOR, CREATION OF FOREST CROPS IN CUTTINGS, CLEARING STRIPS IN CUTTINGS, SOIL TREATMENT, PLANTING

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-215-003>

Пункт 12к Правил заготовки древесины (Приказ Минприроды РФ от 1 декабря 2020 г. № 993) требует проведение очистки лесосеки при заготовке древесины. Для выполнения этой операции в настоящее время выпускаются подборщики сучьев ОУЛ-24 (Беларусь), ЗПИ (Польша) (рис. 1), ПСГ-2,4, ПСГ-2,9 (Россия). Подборщики сучьев ОУЛ-24, ЗПИ имеют одинаковую конструкцию, агрегируются с колёсными тракторами класса тяги 1,4 – 2, имеют модификации для навешивания как на заднюю навесную систему, так и спереди трактора. Подборщики сучьев ПСГ-2,4 и ПСГ-2,9 монтируются вместо щита на гусеничные трелёвочные тракторы. Как правило, подборщики сучьев сгребают порубочные остатки в валы [1].



а)



б)

Рисунок 1 – Подборщики сучьев: а) ЗПИ в агрегате с трактором МТЗ-82.1, б) ОУЛ-24 в агрегате с трактором МУЛ-1221 (фото <https://mozyrmash.by>)

Правила лесовосстановления (приказ Минприроды РФ от 29.12.2021 № 1024) предусматривают возможность проведения расчистки, в том числе полосной, лесокультурной площади от древесных остатков. Для выполнения полосной расчистки разработаны и выпускались орудие для расчистки вырубок ОРВ-1,5 (рис.2), клин для расчистки полос КРП-2,5 и другие [2]. В настоящее время для полосной расчистки используются мульчеры. Полосная расчистка малопродуктивная, энергозатратная и, соответственно, дорогостоящая операция. Этим объясняется её редкое использование при создании лесных культур. В тоже время, на захламлённых вырубках ухудшается качество работы почвообрабатывающих и лесопосадочных машин, снижается их производительность.



Рисунок 2 – Оборудование для расчистки вырубок ОРВ-1,5

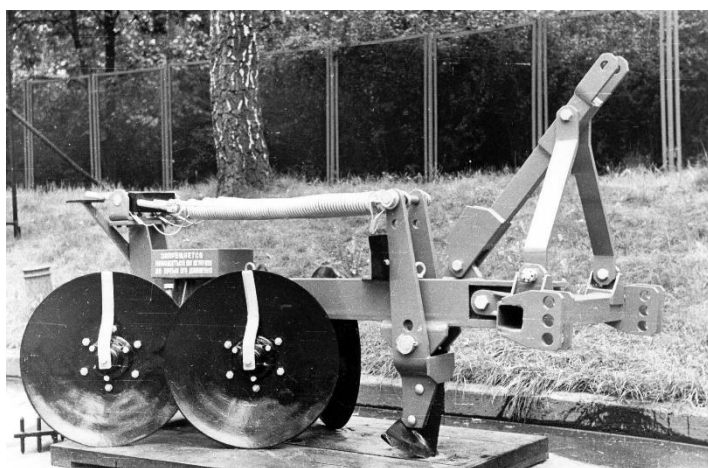
Некоторые лесные машины снабжены дополнительными рабочими органами, проводящими локальную расчистку. Примерами таких машин являются лесопосадочные машины ЛМД-81, СЛ-1, покровосдиратели дисковые ПДН-1 и ПДН-2 (рис. 3). Рабочими органами, проводящими локальную расчистку, у лесопосадочных машин является подпружиненный



зуб, который, двигаясь практически не заглубляясь в почву, раздвигает валежник и порубочные остатки. При встрече с препятствиями зуб отклоняется, упирается в сошник, лесопосадочная машина вывешивается на сошнике и препятствие преодолевается. У покровосдирателя ПДН-1 рабочим органом, проводящими локальную расчистку, является подпружиненная рыхлительная лапа, которая, двигаясь на небольшой глубине, минерализует почву, раздвигает валежник и порубочные остатки.



а)



б)

Рисунок 3 – а) Лесопосадочная машина СЛ-1, б) покровосдиратель ПДН-1

Таким образом, полосная расчистка энергоёмка и малопроизводительна, локальная расчистка решает вопрос улучшения качества выполняемой работы и повышения производительности труда на одной технологической операции при работе конкретным техническим средством.

Одним из вариантов решения является агрегатирование трактора одновременно с почвообрабатывающим орудием или лесопосадочной машиной, и оборудованием для расчистки вырубок. При работе агрегата оборудование для расчистки вырубок и почвообрабатывающее орудие

находятся в «плавающем» положении. Расчистка и обработка почвы осуществляются одновременно. При таком агрегатировании оборудование для расчистки вырубок должно обеспечивать:

- сход валежника и порубочных остатков с рабочих органов оборудования с формированием минимальной призмой волочения;
- непрерывную работу при движении агрегата без необходимости выполнения возвратно-поступательных ходов агрегата;
- минимальные энергозатраты, учитывая, что в настоящее время при выполнении лесохозяйственных работ наибольшее распространение получили колёсные тракторы классов тяги 1,4, 2.

Существующее оборудование для расчистки полос выполнено в виде клина и часто снабжено корчующим зубом. Такое оборудование агрегируется с гусеничными тракторами класса тяги 3 или 4, при этом при работе агрегат совершает возвратно-поступательные движения при встрече с пнями. Использование оборудования такого типа на колёсных тракторах классов тяги 1,4, 2 проблематично.

Рабочие органы подборщиков сучьев ОУЛ-24, ЗПИ более перспективны для использования при полосной расчистке. При встрече с препятствием зубья поднимаются вверх, а для улучшения схода валежника и порубочных остатков с рабочих органов зубья можно расположить клином.

Оценим силы, возникающие при работе зубьев подборщиков сучьев. Зубья подборщика *CDE* (рис. 4) выполнены из двутавра, между полками которого установлены ролики *A* и *B*, жестко закреплённые на раме. В верхней части зуба закреплена пружина, связывающая зуб с рамой, и обеспечивающая прижатие зуба к почве.

Возможны два варианта работы:

- зубья перемещаются по поверхности почвы, раздвигая валежник и порубочные остатки;

- зубья взаимодействуют с непреодолимым препятствием.

Рассмотрим первый вариант. Сила начального натяжения пружины превышает часть веса оборудования, приходящегося на зуб. Зуб находится в нижнем положении. Действие внешних сил на оборудование можно свести к нормальной реакции почвы от веса части оборудования  $R_{Cy}$ , приходящегося на зуб, и силе трения зуба и порубочных остатков о почву  $R_{Cx}$ . Построим зависимость силы, действующей на пружину  $P_E$  от силы трения зуба и порубочных остатков о почву  $R_{Cx}$ .

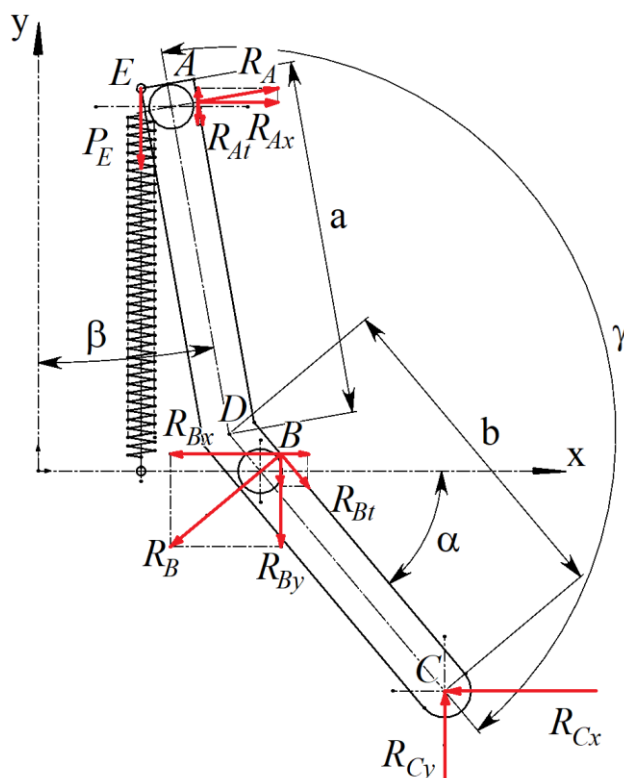


Рисунок 4 – Схема сил

Используем обозначения рис.4. Геометрия зуба определяется размерами зуба  $CD$ , рычага  $DE$  и углом  $\gamma$  между ними. Нижнее положение зуба определяется координатами осей роликов  $A$  и  $B$  и углом начальной установки зуба  $CD$  к горизонту  $\alpha$ . Таким образом нижнее положение зуба будет описываться следующими соотношениями:

$$\begin{aligned}\alpha &= \alpha_0, \\ \beta &= \beta_0, \\ \gamma &= \alpha + \beta + \frac{\pi}{2}, \\ x_D - x_A &= (y_A - y_D) \operatorname{tg} \beta \\ y_D - y_B &= (x_B - x_D) \operatorname{tg} \alpha, \\ y_E &= y_D + a \cos \beta, \\ x_E &= x_D - a \sin \beta, \\ y_C &= y_D - b \sin \alpha, \\ x_C &= x_D + b \cos \alpha,\end{aligned}$$

где,  $\alpha_0$  – значение угла  $\alpha$  в нижнем положении зуба,  $\beta_0$  – значение угла  $\beta$  в нижнем положении зуба.

Составим уравнения сил, действующих на зуб, и уравнения равновесия зуба (сумму моментов рассматриваем относительно начала координат):

$$\begin{aligned}R_{Cx} &= f_t R_{Cy} \\ R_{At} &= f_r R_A, \\ R_{Bt} &= f_r R_B, \\ R_{Ax} &= R_A \cos \beta + R_{At} \sin \beta, \\ R_{Ay} &= R_A \sin \beta - R_{At} \cos \beta, \\ R_{Bx} &= R_B \sin \alpha - R_{Bt} \cos \alpha, \\ R_{By} &= R_B \cos \alpha + R_{Bt} \sin \alpha, \\ R_{Ax} - R_{Bx} - R_{Cx} &= 0 \\ -P_E - R_{Ay} - R_{By} + R_{Cy} &= 0\end{aligned}\tag{1}$$

$$-P_E x_E - R_{Ax} y_A - R_{Ay} x_A + R_{Bx} y_B - R_{By} x_B + R_{Cx} y_C + R_{Cy} x_C = 0$$

где,  $f_t$  – коэффициент трения зуба и порубочных остатков о почву, при расчетах изменялся от 0 до 0,8;  $f_r = 0,05$  – коэффициент трения качения роликов по полке двутавра,

Так как зуб относительно рамы не перемещается и, следовательно, угол установки зуба  $CD$  к горизонту  $\alpha$  постоянен, то зависимость силы, действующей на пружину  $P_E$  от силы трения зуба и порубочных остатков о почву  $R_{Cx}$ , линейная (рис. 5). При расчетах использовались размеры оборудования ЗПИ:

$$a = 800, b = 755, A(0; 820), B(200; 0), \gamma = 150^\circ, \alpha_0 = 50^\circ, \beta_0 = 10^\circ.$$

Размеры и координаты приведены в миллиметрах. Пружина № 159 ГОСТ 13775, количество витков 50.

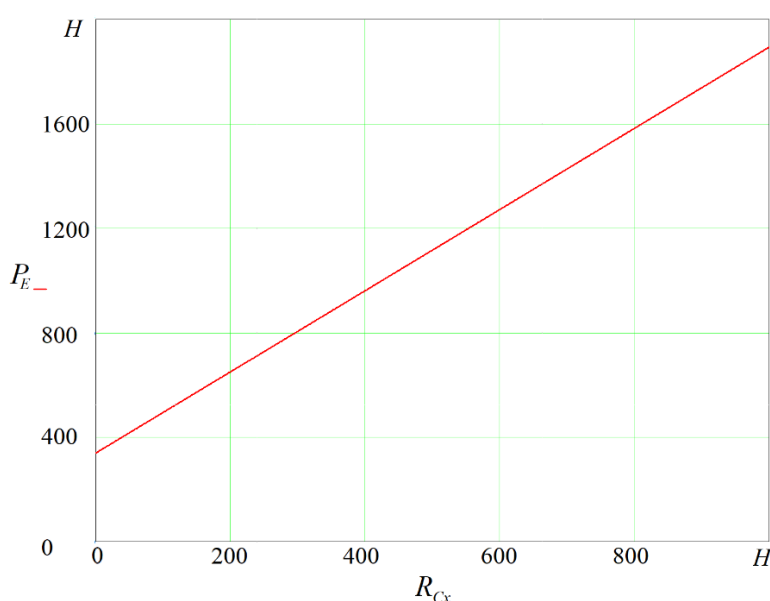


Рисунок 5 – Зависимость силы, действующей на пружину  $P_E$  от силы трения зуба и порубочных остатков о почву  $R_{Cx}$

Рассмотрим второй вариант работы оборудования, при котором зуб встречается с непреодолимым препятствием. Построим зависимость горизонтальной силы действующей на зуб  $R_{Cx}$  и силы натяжения пружины  $P_E$  от перемещения агрегата. Используем принцип обращения движения: агрегат стоит, а непреодолимое препятствие движется. При таком варианте координата точки  $C$  по оси  $x$  будет уменьшаться. Положение зуба в зависимости от координаты  $x_C$  будет описываться следующими соотношениями:



$$\begin{aligned}(x_D - x_E)^2 + (y_D - y_E)^2 &= a^2, \\(x_C - x_D)^2 + (y_C - y_D)^2 &= b^2, \\ \frac{x_C - x_B}{x_C - x_D} &= \frac{y_C - y_B}{y_C - y_D}, \\ \frac{x_A - x_D}{y_A - y_D} &= \frac{x_E - x_D}{y_E - y_D}, \\ \cos \gamma &= \frac{(x_D - x_E)(x_D - x_C) + (y_D - y_E)(y_D - y_C)}{ab},\end{aligned}$$

В уравнениях сил (1) первое уравнение изменится. При встрече с препятствием зуб движется вверх. Силой, с которой нож прижимается к поверхности, будет  $R_{Cx}$ , а  $R_{Cy}$  будет силой трения:

$$R_{Cy} = f_t R_{Cx}.$$

Независимой переменной будет перемещение агрегата  $x_C$ , искать будем горизонтальное усилие на ноже  $R_{Cx}$  и силу натяжения пружины  $P_E$ . При расчетах начальное натяжение пружины было принято 1 кН, высота преодолеваемого препятствия 250 мм. Результаты приведены на рис. 6.

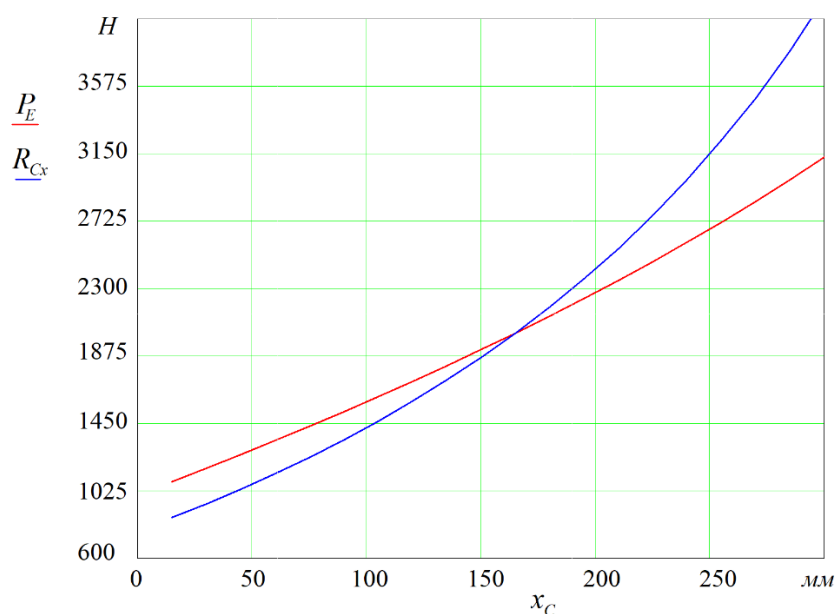


Рисунок 6 – Зависимость сил, действующих на зуб  $R_{Cx}$  и на пружину  $P_E$  от перемещения агрегата  $x_C$ ,

Таким образом, при предварительном натяжении пружины 1 кН тяговое усилие на одном зубе при расчистке не превысит 0,43 кН, а при встрече с препятствием 4 кН.

У подборщиков сучьев ОУЛ-24 и ЗПИ расстояние между зубьями 550 мм. Ширина минерализованной полосы, подготовленной плугом ПКЛ-70, 1400 мм. Исходя из этого, оборудование должно иметь 3 или 4 зуба, расположенные клином. Тяговое усилие, необходимое для работы на расчистке оборудования с тремя зубьями, составит  $0,43 \times 3 = 1,29$  кН, с четырьмя зубьями –  $0,43 \times 4 = 1,72$  кН. При встрече с препятствием одного зуба необходимое тяговое усилие для обоих вариантов увеличится на 4 кН и составит 5,29 кН для оборудования с тремя зубьями, и 5,72 кН для оборудования с четырьмя зубьями. Таким образом, агрегат в составе колёсного трактора класса тяги 2, плуга ПКЛ-70 или лесопосадочной машиной с глубиной хода сошника до 20 см и рассмотренного выше оборудования для расчистки будет иметь достаточную тяговую усилия для одновременного выполнения двух технологических операций. Аналогичный агрегат на базе колёсного трактора класса тяги 1,4 будет работоспособен только при работе на легких почвах и небольшом захламлении.

### **Литература.**

1. Лесозэксплуатация / В.И. Патякин, Э.О. Салминен, Ю.А. Бит и др. // – М. : «Академия», 2006. – 320 с. ISBN 5-7695-2471-5
2. Калиниченко Н.П. Лесовосстановление на вырубках / Н.П. Калиниченко, А.И. Писаренко, Н.А. Смирнов // – М. : «Экология», 1991. – 384 с. ISBN 5-7120-0374-0

### **Литература.**

1. Lesojeksploatacija / V.I. Patjakin, Je.O. Salminen, Ju.A. Bit i dr. // – М. : «Akademija», 2006. – 320 s. ISBN 5-7695-2471-5
2. Kalinichenko N.P. Lesovosstanovlenie na vyrubkah / N.P. Kalinichenko, A.I. Pisarenko, N.A. Smirnov // М. : «Jekologija», 1991. – 384 s. ISBN 5-7120-0374-0