

РАСЧЕТ РАБОЧЕЙ СКОРОСТИ ПОДАЧИ АКТИВНОГО НАВЕСНОГО КУСТОРЕЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ СРЕЗАЕМОГО КУСТАРНИКА

Булавинцева А.Д.¹, Мазуркин П.М.¹

¹ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, Россия (424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3), e-mail: bulavintsevaad@mail.ru

Приведены математические модели расчета допустимой скорости подачи по установленной мощности базовой машины (бульдозера) с гидростатической трансмиссией, в зависимости от параметров срезаемого кустарника и пней. В математических моделях расчета энергосиловых показателей и допустимой скорости подачи кустореза на обрабатываемую поросль учтены наихудшие условия для срезания. Расчеты произведены по максимальному диаметру ствола с учетом закономерности фактического распределения диаметров кустарника и пней, а также с учетом закономерности фактического распределения диаметра только кустарника. Представлен график зависимости установленной мощности двигателя от скорости подачи бульдозера по моделям.

Ключевые слова: скорость подачи, активный навесной кусторез, бульдозер, кустарник, математическая модель

CALCULATION OF WORKING FEED RATE OF THE ACTIVE MOUNTED BRUSH CUTTER DEPENDING ON PARAMETERS OF THE CUT-OFF BUSH

Bulavintseva A.D.¹, Mazurkin P.M.¹

¹Volga State Technological University, Yoshkar-Ola, Russia (424000, Yoshkar-Ola, Lenin 3sq.), e-mail: bulavintsevaad@mail.ru

Mathematical models of calculation of permissible feed rate based on the set capacity of the basic engine (bulldozer) with hydrostatic transmission, depending on the parameters of bushes and stubs being cut-off. In mathematical models of calculation of permissible feed rate of the active mounted brush cutter onto processed (cut-off) young growth there have been taken into consideration the worst conditions for cutting. Calculations are made by the maximum diameter of a trunk, taking into account regularity of the actual distribution of diameters of bushes and stubs, and also taking into consideration regularity of the actual distribution of bush diameter solely. The diagram of engine rated capacity dependence on the rate of feeding of a bulldozer by the models is given.

Keywords: feed rate, active mounted brush cutter, bulldozer, brush, mathematical model

Введение. Кусторезы применяются во многих отраслях национального хозяйства. Особую актуальность расчистка от кустарника и поросли имеет для предприятия, обслуживающего трубопроводный транспорт, оптоволоконные трассы, магистральные электрические сети, полосы отвода автомобильных, железных дорог и т.п., ежегодно сталкиваются с проблемой борьбы с нежелательной растительностью.

При эксплуатации магистральных нефтепроводов должны соблюдаться требования к содержанию охранной зоны. Полоса шириной не менее 3 м от оси с каждой стороны нефтепровода должна содержаться в расчищенном состоянии [5]. Расчищенная трасса позволит эффективно контролировать эксплуатационную надежность и безопасность нефтепроводов.

Для расчистки трассы нефтепровода базовой машиной возьмем бульдозер. Бульдозер может быть использован для валки деревьев с корнями, корчевания пней и кустарников. Возможность выполнения бульдозером многих трудоемких работ наряду с простотой, прочностью и надежностью конструкции сделали его самой широко распространенной общестроительной машиной. Ходовая часть бульдозера приспособлена к перемещению по лесу.

В зависимости от мощности и конструкции бульдозеры могут работать на различных грунтах – и на болотистых, и на песчаных.

Наиболее подходящий для расчистки трассы нефтепровода гусеничный бульдозер. Трасса нефтепровода местами проходит по болотистой местности, следует обратить внимание на бульдозеры с пониженным удельным давлением на грунт.

Базовую машину (бульдозер) можно выбрать по алгоритму, приведенному в блок-схеме на рисунке 1.

Базовой машиной был выбран бульдозер Четра Т11С. Масса бульдозера 18712 кг, мощность двигателя 132 кВт, удельное давление на грунт 74,5 кПа. Бульдозер Четра Т11С имеет гидростатическую трансмиссию с двумя независимыми контурами для привода левой и правой гусениц. Трансмиссия обеспечивает бесступенчатое плавное регулирование скорости движения оператором, а также автоматическое бесступенчатое регулирование скорости и силы тяги в зависимости от внешней нагрузки. Скорость движения 0-11 км/ч (0-3,06 м/с) [6].

Пильный механизм представляет собой последовательно расположенные на корпусе четыре кусторезных головки АСК-16М – пильные диски имеют диаметр 2300 мм.

Скорость подачи u зависит от коробки передачи бульдозера, в нашем случае гидростатической трансмиссии, для максимальной производительности необходимо определить рабочую скорость бульдозера.

Скорость инструмента из-за гидропривода зубчатого диска изменяется редуктором в пределах 0 - 9 об/мин. При номинальной мощности 39,6 кВт обеспечивается максимальное вращение 9 об/мин. Тогда скорость инструмента равна $v = \pi d v / 60 = 1,08$ м/с.

Для расчета рабочей скорости активного навесного кустореза необходимо учитывать самые неблагоприятные условия для механической расчистки линейных объектов. В ходе

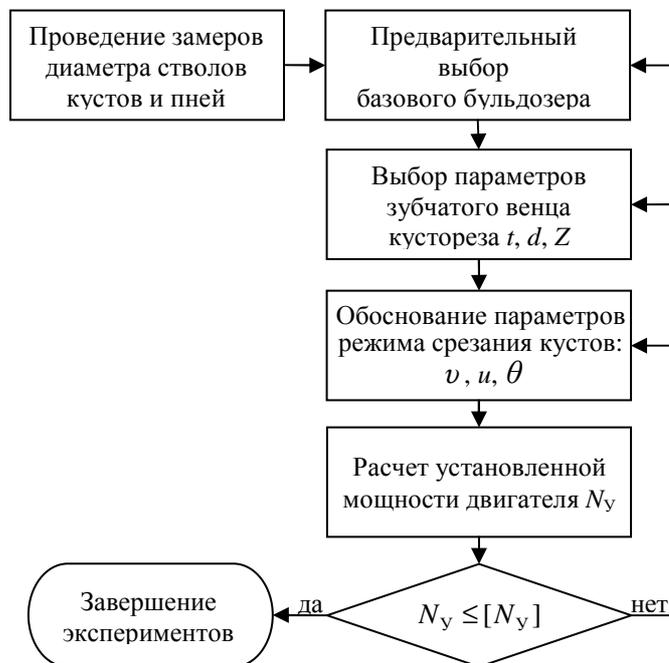


Рисунок 1. Блок-схема выбора базового бульдозера

Таблица 1

Параметры зубчатого венца кусторезной головки АСК-16М

Мощность гидромотора, кВт	39,6
Число оборотов ножа, об/мин	0 - 9
Диаметр ножа и контрножа, м	2,3
Максимальное усилие срезания, кН	58
Толщина полотна ножей, мм	20
Число зубьев контрножа, шт.	90
Число зубьев подвижного ножа, шт.	90
Высота зуба, мм	50
Шаг, мм	80

проведенных экспериментов по замеру диаметра стволов и определения густоты на обслуживаемом участке [4], показали, на пробной площадке 4×4 м имеют следующие характеристики: количество стволов растений и пней 45 шт. (из них 28 стволов растений и 17 стволов пней), максимальный диаметр ствола пня 75 мм (в расчетах принимаем $D_{\max} = 80$ мм), максимальная густота растений $n_{\max} = 2,81$ шт./м² [2].

Математическая модель по максимальному диаметру стволов для расчета скорости подачи u активного навесного кустореза на базе бульдозера имеет вид [1]:

$$\begin{cases} N_y = \frac{N_v}{\eta_K} + \frac{N_{\Pi}}{\eta_M}; & N_{\Pi} = N_u + 20192u; \\ N_u = P_H u; & P_H = P \sin \theta'; \\ N_v = 1,08 P_K; & P_K = P \cos \theta'; \\ \theta' = \arctg(u/1,08); \\ P = 8P_3^e; & P_3^e = 279,4e; \\ e = 80u / \sqrt{u^2 + 1,1664}, \end{cases} \quad (1)$$

где N_y - установленная мощность двигателя; N_v - мощность на резание кусторезной головки; N_{Π} - мощность на перемещение; η_K - КПД кусторезной головки, 0,9 [3]; η_M - КПД трансмиссии машины, 0,7 [6]; N_u - мощность на движение подачи кусторезной головки; P_H - нормальная сила; P_K - касательная сила; P_3^e - сила, действующая на один зуб; P - общая сила резания; e - толщина реза; θ' - угол движения.

Расчет скорости подачи по математической модели (1), производим до значения скорости, при котором установленная скорость N_y будет иметь максимальное значение, но будет удовлетворять условию $N_y \leq [N_y]$, допустимая $[N_y] = 132$ кВт, допустимая установленная мощность ДВС бульдозера Чetra T11C (таблица 2).

Таблица 2

Результаты расчетов по модели (1)

u , м/с	e , мм	θ' , град.	P_3^e , кН	P , кН	P_K , кН	P_H , кН	N_v , кВт	N_u , кВт	N_{Π} , кВт	N_y , кВт
0,10	7,38	5,27	2,06	16,49	16,42	1,52	17,73	0,15	2,17	22,80
0,15	11,01	7,91	3,07	24,60	24,37	3,38	26,31	0,51	3,54	34,29
0,20	14,57	10,49	4,07	32,56	32,02	5,93	34,58	1,19	5,22	45,88
...
0,50	33,61	24,87	9,39	75,12	68,17	31,56	73,63	15,78	25,88	118,77
0,55	36,30	26,99	10,14	81,15	72,31	36,82	78,10	20,25	31,36	131,57
0,60	38,85	29,05	10,86	86,84	75,91	42,17	81,99	25,30	37,42	144,55

При скорости подачи (по максимальному диаметру ствола) равной 0,55 м/с $N_y \approx 132$ кВт = $[N_y]$ это значение удовлетворяет условию $N_y \leq [N_y]$. При скорости подачи равной 0,6 м/с установленная мощность двигателя $N_y \approx 145$ кВт > $[N_y]$, что не

удовлетворяет условию. Таким образом, рабочая скорость подачи 0,55 м/с (1,98 км/ч) при срезании будет наиболее эффективной при расчистке трассы нефтепровода от древесно-кустарниковой растительности активным кусторезом с четырьмя дисками.

Поскольку на пробных площадках не все кусты имеют максимальный диаметр, то возможно уточнение допустимой скорости подачи при учете рангового распределения кустов и пней от ранее срезанных растений. Изменив систему уравнений (1) подстановкой выявленных закономерностей рангового распределения по экспериментальным данным, с наиболее тяжелым режимом работы кустореза.

При перерезании стволов растений за один раз усилие срезания больше, чем при перерезании ствола за несколько раз. Соответственно, мощность двигателя при перерезании ствола за один раз значительно больше, чем при перерезании стволов за несколько подходов.

В расчет введем закон распределения диаметра от ранга по формуле

$$D(r) = 5,54 \exp(0,034831 r_D^{1,34971}), \quad (2)$$

где $r = 0, 1, 2, \dots, 22$. Густота $n = 2,81$ шт./м², то густота на ширине захвата кустореза $n_B = nB = 22,48$. Ширина захвата – 8 м.

Математическую модель для расчета скорости движения бульдозера с учетом закономерностей рангового распределения диаметра стволов кустарника и пней имеет вид

$$\left\{ \begin{array}{l} N_y = \frac{N_v}{\eta_K} + \frac{N_{II}}{\eta_M}; \quad N_v = 1,08 P_K; \\ N_{II} = N_u + 20192u; \quad N_u = P_H u; \quad P_H = P \sin \theta'; \\ D(r) = 5,54 \exp(0,034831 r_D^{1,34971}); \\ P_K = \sum_{r=0}^{22} e D(r) (19,615 + 0,002686 D(r)^{3,5346}) \cos \theta'; \\ \theta' = \arctg(u/1,08); \\ P = \sum_{r=0}^{22} 2D(r) P_3^e; \quad P_3^e = \sum_{r=0}^{22} P_3^D e / D(r); \\ P_3^D = \sum_{r=0}^{22} (19,615 + 0,002686 D(r)^{3,5346}); \\ e = 80u / \sqrt{u^2 + 1,1664}. \end{array} \right. \quad (3)$$

Расчеты предельной скорости подачи при условии изменения инструмента и гидропривода с учетом распределения диаметров по модели (3) приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты расчетов по модели (3)

u , м/с	e , мм	θ' , град.	P_3^e , кН	P , кН	P_K , кН	P_H , кН	N_v , кВт	N_u , кВт	N_{II} , кВт	N_y , кВт
0,10	7,38	5,27	2,85	6,69	6,29	0,62	6,80	0,06	2,08	10,52
0,15	11,01	7,91	4,25	9,99	6,26	1,37	6,76	0,21	3,23	12,13
0,20	14,57	10,49	5,63	13,22	6,21	2,41	6,71	0,48	4,52	13,91
...
1,30	61,54	50,31	23,77	55,84	4,04	42,95	4,36	55,84	82,09	122,11

1,35	62,47	51,34	24,13	56,69	3,95	44,27	4,26	59,76	87,02	129,05
1,40	63,34	52,37	24,46	57,48	3,86	45,51	4,17	63,72	91,99	136,04

Изучение закономерностей распределения диаметров стволов кустов и пней дает возможность производить расчистку трассы на более высокой скорости бульдозера, а именно на скорости подачи равной 1,35 м/с, $N_y \approx 129 \text{ кВт} < [N_y]$, удовлетворяет условию $N_y \leq [N_y]$.

Скорость подачи рабочего органа при изучении закономерностей распределения диаметров в $1,35/0,55 \approx 2,5$ раза выше. Тогда для расчета производительности можно учесть предельно возможную скорость подачи рабочего органа 1,35 м/с (4,86 км/ч).

Кусты с пнями от прошлых расчисток встречаются реже по сравнению с чистыми кустами. Этому способствует естественное загнивание пней березы и осины. Но даже при наличии прошлогодних относительно свежих пней кусторезный орган можно приподнять над ними и проводить срезку только стволов у кустарника.

Распределение кустов на пробной площадке без пней с худшими условиями принимается по формуле

$$D(r) = 3,84 \exp(0,06219 r_D^{1,39586}), \quad (4)$$

где $r = 0, 1, 2, \dots, 14$.

Математическая модель для расчета скорости движения бульдозера с учетом закономерностей рангового распределения диаметров стволов только кустов имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} N_y = \frac{N_v}{\eta_K} + \frac{N_{\Pi}}{\eta_M}; \quad N_v = 1,08 P_K; \\ N_{\Pi} = N_u + 20192u; \quad N_u = P_H u; \quad P_H = P \sin \theta'; \\ D(r) = 3,84 \exp(0,06219 r_D^{1,39586}); \\ P_K = \sum_{r=0}^{14} e D(r) (19,615 + 0,002686 D(r)^{3,5346}) \cos \theta'; \\ \theta' = \arctg(u/1,08); \\ P = \sum_{r=0}^{14} 2D(r) P_3^e; \quad P_3^e = \sum_{r=0}^{14} P_3^D e / D(r); \\ P_3^D = \sum_{r=0}^{14} (19,615 + 0,002686 D(r)^{3,5346}); \\ e = 80u / \sqrt{u^2 + 1,1664}. \end{array} \right. \quad (5)$$

В итоге система уравнения получит изменение только в части формулы распределения (4) и количестве слагаемых касательной силы.

Уточненные расчеты предельной скорости подачи при расчистке трассы без учета пней приведены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты расчетов по модели (5)

u , м/с	e , мм	θ' , град.	P_3^e , кН	P , кН	P_K , кН	P_H , кН	N_v , кВт	N_u , кВт	N_{Π} , кВт	N_y , кВт
--------------	-------------	----------------------	-----------------	-------------	---------------	---------------	----------------	----------------	--------------------	----------------

0,10	7,38	5,27	2,60	4,36	3,27	0,40	3,53	0,04	2,06	6,87
0,15	11,01	7,91	3,88	6,50	3,26	0,89	3,52	0,13	3,16	8,42
0,20	14,57	10,49	5,14	8,60	3,23	1,57	3,49	0,31	4,35	10,09
...
1,60	66,31	55,98	23,39	39,15	1,84	32,45	1,99	51,92	84,23	122,54
1,65	66,94	56,78	23,61	39,52	1,80	33,07	1,94	54,57	87,88	127,71
1,70	67,53	57,58	23,81	39,87	1,76	33,66	1,90	57,21	91,54	132,89

Изучение закономерностей распределения диаметров стволов кустов без учета пней дает возможность производить расчистку трассы на скорости подачи равной 1,65 м/с, $N_{\text{y}} \approx 128 \text{ кВт} < [N_{\text{y}}]$, удовлетворяет условию $N_{\text{y}} \leq [N_{\text{y}}]$. Для расчета производительности на участках без учета пней можно учесть предельно возможную скорость подачи рабочего органа 1,65 м/с (5,94 км/ч).

На рисунке 2 приведены графики по всем произведенным расчетам зависимости установленной мощности двигателя от скорости подачи бульдозера.

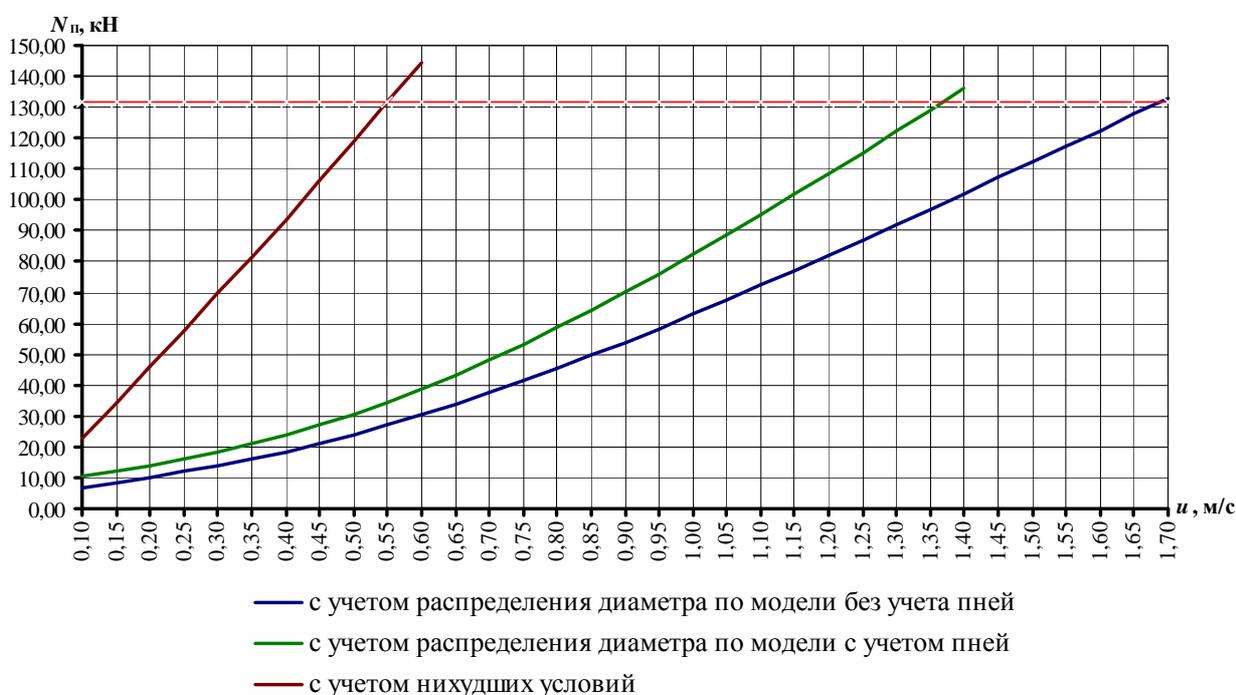


Рисунок 2. График зависимости установленной мощности двигателя от скорости подачи бульдозера по моделям (1), (3) и (5)

Скорость подачи активного навесного кустореза на базе бульдозера при изучении закономерностей распределения диаметров стволов (без учета пней) на пробной площадке с худшими условиями в $1,65/0,55 \approx 3$ раза выше, чем без учета распределения, и в $1,65/1,35 \approx 1,2$ раза выше, чем при учете закономерностей распределения диаметра стволов кустарника и пней.

В результате проведенных расчетов по максимальному диаметру ствола с учетом закономерности фактического распределения диаметров кустарника и пней, а также с учетом закономерности фактического распределения диаметра только кустарника можно увидеть, что изучение фактических условий распределения кустарника и пней от

ранее срезанных древесных растений дает возможность выбрать правильный режим срезания поросли на обслуживаемом линейном объекте.

Список литературы

1. Булавинцева А.Д., Рабочая скорость подачи бульдозера Четра Т11С при расчистке трассы нефтепровода [Электронный ресурс] / А.Д. Булавинцева, П.М. Мазуркин // Современные проблемы науки и образования. – 2013. - № 2. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/108-9022>. – 30.04.2013.
2. Булавинцева А.Д. Условия произрастания кустарника и поросли на трассе нефтепроводом [Текст] / А.Д. Булавинцева // Матер. IV Междун. научно-практ. конф. (ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ»). – Саратов: Издательство «Саратовский источник», 2013. – С. 215-218.
3. Мазуркин П.М. Обоснование параметров модульных рабочих органов лесозаготовительных машин на начальных стадиях проектирования: дис. д-ра тех. наук. – Йошкар-Ола, 1995. – 403 с.
4. Патент 2473898 Российская Федерация, МПК G 01 33/46, A 01 G 23/00 (2006.01). Способ испытания растительного покрова на участках трассы продуктопровода / Мазуркин П.М., Булавинцева А.Д.; заявитель и патентообладатель Поволжский государственный технологический университет. - № 2010132760/13, заявл. 04.08.2010; опубл. 27.01.2013 Бюл. № 3. – 15 с.
5. РД-13.100.00-КТН-196-06 Правила безопасности при эксплуатации магистральных нефтепроводов. –М., 2006.
6. Четра Т11С [Электронный ресурс] // ЧЕТРА. Промышленные машины: сайт. ОАО «ЧЕТРА-Промышленные машины». Чебоксары, 2012. – Режим доступа: <http://www.chetra-im.com/catalog/buldozery/t11s/> - 27.02.2013.

Рецензенты:

Салихов М.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой автомобильных дорог, ПГТУ, г. Йошкар-Ола.

Царев Е.М., д.т.н., профессор кафедры технологии и оборудования лесопромышленных производств, ПГТУ, г. Йошкар-Ола.