

## РАБОЧАЯ СКОРОСТЬ ПОДАЧИ АКТИВНОГО НАВЕСНОГО КУСТОРЕЗА

Мазуркин П.М.<sup>1</sup>, Булавинцева А.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ 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 при срезании кустарника и пней. В математических моделях расчета энергосиловых показателей и допустимой скорости подачи кустореза на обрабатываемую (срезаемую) поросль учтены наихудшие условия для срезания (диаметра стволов кустарника и пней от ранее срезанных древесных растений) и закономерности рангового распределения диаметров стволов. Даны принципиальная схема устройства, конструкция и параметры зубчатого венца диска диаметром 2300 мм, который ранее модульно устанавливался на манипуляторном кусторезе АСК-16.

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

## WORKING FEED RATE OF THE ACTIVE MOUNTED BRUSH CUTTER

Mazurkin P.M.<sup>1</sup>, Bulavintseva A.D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia (424000, Yoshkar-Ola, 3, Lenin Sq.), 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 when cutting bushes and stumps are given, 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 (diameters of bush trunks and stumps to have been left from earlier cut off of woody plants and their actual distribution on the linear object being surveyed) and regularity of rank distribution of trunk diameters. Schematic circuit of the device, structure and dimensions of the disk ring gear being 2,300 mm in diameter to have been previously mounted as a module onto a manipulator brush cutter ASK-16.

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

**Введение.** Предприятия обслуживающие трубопроводный транспорт, оптоволоконные трассы, магистральные электрические сети, полосы отвода автомобильных, железных дорог и т.п., ежегодно сталкиваются с проблемой борьбы с нежелательной растительностью. Расчистка линейных объектов механическим способом – один из наиболее экономически выгодных.

При расчистке линейных объектов активным навесным кусторезом необходимо учитывать параметры кустарника и пней, оставшихся от предыдущих расчисток (густоту, максимальные диаметры стволов), влияющие на энергосиловые показатели кустореза.

Скорость подачи кустореза зависит от рабочей скорости движения машины и меняется в зависимости от густоты и диаметра стволов.

Для расчета энергосиловых показателей кустореза необходимо учитывать самые неблагоприятные условия на обрабатываемом участке. В ходе проведенных экспериментов на трассе нефтепровода в Оршанском, Медведевском и Килемарском районах Республики Марий Эл [3] по методике [5] выявили, что самые плохие условия для механической расчистки трассы на пробной площадке 4 x 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 будем принимать  $D_{\max} = 80$  мм), максимальная густота растений  $n_{\max} = 2,81$  шт./м<sup>2</sup>.

При фланговом расположении базовой машины для срезания кустарника возможно применение многодисковых рабочих органов. Ширина полосы расчистки зависит от размеров рабочего органа, которым осуществляется срезание поросли. Применение нескольких пильных головок в одном рабочем органе во много раз повышает производительность расчистки трассы и экономит время. Один и тот же рабочий орган кустореза может быть установлен на разные машины.

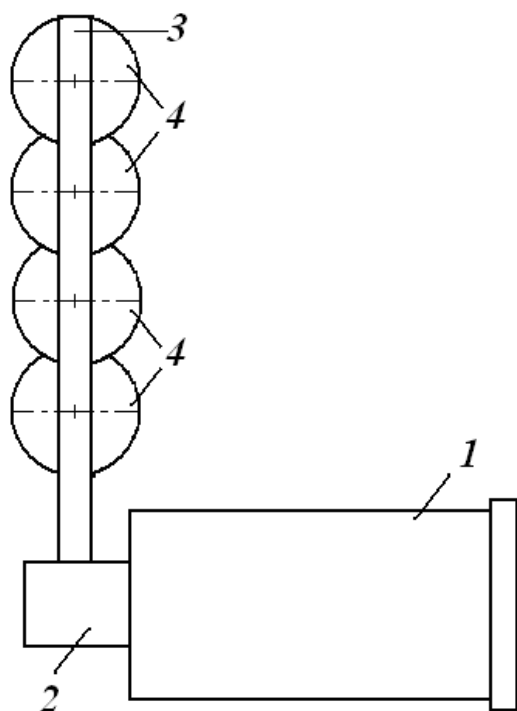


Рисунок 1. Принципиальная схема [2] бульдозера для срезки кустов и пней:

1 – бульдозер; 2 – навеска;

3 – рабочий орган; 4 – дисковые пилы

параметры зубчатого венца приведены в таблице 1, 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.

Базовая машина – 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,

Таблица 1

**Параметры зубчатого венца кусторезной головки АСК-16М**

Мощность гидромотора, кВт	39,6
Число оборотов ножа, об/мин	0 - 9
Диаметр ножа и контр ножа, 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

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 скорости движения бульдозера с кусторезом (скорости подачи  $u$ ) была получена математическую модель [1]:

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

где  $N_y$  - установленная мощность двигателя;  $N_v$  - мощность на резание кусторезной головки;  $N_{II}$  - мощность на перемещение;  $\eta_K$  - КПД кусторезной головки, 0,9 [4];  $\eta_M$  - 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;  $\theta'$  - угол движения.

Проведем расчеты математической модели, задавая скорость подачи от 0,10 м/с с шагом в 0,05 м/с до значения скорости, при котором установленная скорость  $N_y$  будет иметь максимальное значение, но будет удовлетворять условию  $N_y \leq [N_y]$  (таблица 2).

Таблица 2

Результаты расчетов по модели (1)

$u$ , м/с	$e$ , мм	$\theta'$ , 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	2,06	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
0,25	18,04	13,01	5,04	40,33	39,29	9,09	42,43	2,27	7,32	57,60
0,30	21,41	15,53	5,98	47,86	46,11	12,81	49,80	3,84	9,90	69,48
0,35	24,66	17,93	6,89	55,13	52,44	17,00	56,64	5,95	13,02	81,52
0,40	27,79	20,34	7,76	62,11	58,24	21,57	62,90	8,63	16,70	93,75
0,45	30,77	22,63	8,60	68,78	63,48	26,45	68,56	11,90	20,99	106,17
0,50	33,61	24,87	9,39	75,12	68,17	31,56	73,63	15,78	25,88	118,77
<b>0,55</b>	<b>36,30</b>	<b>26,99</b>	<b>10,14</b>	<b>81,15</b>	<b>72,31</b>	<b>36,82</b>	<b>78,10</b>	<b>20,25</b>	<b>31,36</b>	<b>131,57</b>
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,  $N_y \approx 132 \text{ кВт} = [N_y]$  это значение удовлетворяет условию  $N_y \leq [N_y]$ . При скорости подачи равной 0,6 м/с установленная мощность двигателя  $N_y \approx 145 \text{ кВт} > [N_y]$ , 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 дисковыми зубчатыми головками на базе бульдозера Четра Т11С с гидростатической трансмиссией.

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, в расчет введем закон распределения диаметра от ранга по формуле

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

Растение с максимальным диаметром встречается очень редко – один раз на 36 пробных площадок (вероятность встречи  $100/36 = 2,78\%$ ). Поэтому на одном резе  $B = 8 \text{ м}$  все одновременно срезаемые кусты и пеньки не могут иметь максимальный диаметр  $D_{\max}$ .

Поэтому число одновременно срезаемых стволов  $a_c^B$  выразим через распределение. Из-за того, что захват кустореза 8 м больше в два раза, то получим

$$a_c^B = 2D(r), \quad (3)$$

где  $r = 0, 1, 2, \dots, 22$ . Густота  $n = 2,81 \text{ шт./м}^2$ , то густота на ширине захвата кустореза  $n_B = nB = 22,48$ . Весь ряд распределения будет располагаться вдоль кусторезных ножей.

Математическую модель для расчета скорости движения бульдозера с учетом закономерностей рангового распределения имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} N_y = \frac{N_v}{\eta_K} + \frac{N_{\Pi}}{\eta_M}; \quad N_v = 1,08 P_K; \\ N_{\Pi} = N_u + 20192u; \quad N_u = P_H u; \quad P_H = P \sin \theta'; \\ D(r) = 5,54 \exp(0,034831 r_D^{1,34971}); \\ P_K = \sum_{r=0}^{22} e D(r) (19,615 + 0,002686 D(r)^{3,5346}) \cos \theta'; \\ \theta' = \arctg(u/1,08); \\ P = \sum_{r=0}^{22} 2D(r) P_3^e; \quad P_3^e = \sum_{r=0}^{22} P_3^D e / D(r); \\ P_3^D = \sum_{r=0}^{22} (19,615 + 0,002686 D(r)^{3,5346}); \\ e = 80u / \sqrt{u^2 + 1,1664}. \end{array} \right. \quad (4)$$

Расчеты предельной скорости подачи при условии изменения инструмента и гидропривода с учетом распределения диаметров по модели (4) приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Результаты расчетов по модели (4)**

$u$ , м/с	$e$ , мм	$\theta'$ , 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
0,25	18,04	13,01	6,97	16,37	6,16	3,69	6,65	0,92	5,97	15,92
0,30	21,41	15,53	8,27	19,43	6,09	5,20	6,58	1,56	7,62	18,19
0,35	24,66	17,93	9,53	22,38	6,01	6,90	6,49	2,41	9,48	20,76
0,40	27,79	20,34	10,73	25,21	5,93	8,76	6,40	3,50	11,58	23,65
0,45	30,77	22,63	11,88	27,92	5,83	10,74	6,30	4,83	13,92	26,88
0,50	33,61	24,87	12,98	30,50	5,73	12,81	6,19	6,41	16,50	30,46
0,55	36,30	26,99	14,02	32,95	5,63	14,95	6,08	8,22	19,33	34,37
0,60	38,85	29,05	15,01	35,26	5,53	17,12	5,97	10,27	22,39	38,61
0,65	41,25	31,05	15,93	37,44	5,41	19,30	5,85	12,55	25,67	43,17
0,70	43,51	32,95	16,81	39,49	5,30	21,48	5,73	15,03	29,17	48,03
0,75	45,63	34,78	17,62	41,41	5,19	23,62	5,61	17,72	32,86	53,17
0,80	47,62	36,56	18,39	43,21	5,08	25,72	5,48	20,58	36,73	58,56
0,85	49,48	38,22	19,11	44,90	4,97	27,77	5,36	23,60	40,77	64,20
0,90	51,21	39,82	19,78	46,48	4,85	29,75	5,24	26,78	44,95	70,04
0,95	52,84	41,31	20,41	47,95	4,75	31,67	5,13	30,09	49,27	76,08
1,00	54,35	42,80	20,99	49,32	4,64	33,51	5,01	33,51	53,70	82,28
1,05	55,77	44,18	21,54	50,61	4,53	35,28	4,90	37,04	58,24	88,64
1,10	57,09	45,55	22,05	51,80	4,43	36,97	4,78	40,66	62,87	95,13
1,15	58,32	46,81	22,52	52,92	4,33	38,58	4,67	44,36	67,58	101,74
1,20	59,46	48,01	22,97	53,96	4,23	40,11	4,57	48,13	72,36	108,45
1,25	60,53	49,16	23,38	54,94	4,13	41,57	4,46	51,96	77,20	115,25
1,30	61,54	50,31	23,77	55,84	4,04	42,95	4,36	55,84	82,09	122,11
<b>1,35</b>	<b>62,47</b>	<b>51,34</b>	<b>24,13</b>	<b>56,69</b>	<b>3,95</b>	<b>44,27</b>	<b>4,26</b>	<b>59,76</b>	<b>87,02</b>	<b>129,05</b>
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).

**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. Скорость движения бульдозера Четра Т11С с навесным кусторезом на трассе нефтепровода [Текст] / А.Д. Булавинцева // Матер. IV Междун. научно-практ. конф. (ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ»). – Саратов: Издательство «Саратовский источник», 2013. – С. 387-390.

3. 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.

4. Мазуркин П.М. Обоснование параметров модульных рабочих органов лесозаготовительных машин на начальных стадиях проектирования: дис. д-ра тех. наук. – Йошкар-Ола, 1995. – 403 с.

5. 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.

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, Поволжский государственный технологический университет, г.Йошкар-Ола.

Колупаев Б.И., д.б.н., профессор, кафедра водных ресурсов, Поволжский государственный технологический университет, г.Йошкар-Ола.