

РАБОЧАЯ СКОРОСТЬ ПОДАЧИ БУЛЬДОЗЕРА ЧЕТРА Т11С ПРИ РАСЧИСТКЕ ТРАССЫ НЕФТЕПРОВОДА

Мазуркин П.М.¹, Булавинцева А.Д.¹

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

Приведена методика расчета допустимой скорости подачи по установленной мощности базовой машины (бульдозера) с гидростатической трансмиссией, при расчистке трассы нефтепровода от кустарника и поросли. Даны принципиальная схема устройства, конструкция и параметры зубчатого венца диска диаметром 2300 мм, который ранее модульно устанавливался на манипуляторном кусторезе АСК-16 на базе серийно выпускаемой машины ЛП-19. В методике 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). Приведены формулы для обоснования кинематических параметров режима срезания кустарника.

Ключевые слова: кустарник, нежелательная растительность, бульдозер, скорость подачи, расчистка нефтепровода.

WORKING FLOW RATE OF BULLDOZER CHETRA T11C USED FOR CLEARING THE PIPELINE ROUTE

Mazurkin P.M.¹, Bulavintseva A.D.¹

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

There has been given the technique to calculate allowable feeding rate through set power of the base machine (a bulldozer) with hydrostatic transmission used for clearing pipeline route from bush and shoots. 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 bush cutter ASK-16 based on serially manufactured LP-19 machine. The worst conditions for cutting (diameter of bush stems and stumps of earlier cut woody plants) were taken into consideration for calculating energy-power indicators and allowable bush cutter feeding rate onto the treated (cut) shoots. Formulas to substantiate kinematic parameters of bush cutting mode have been give.

Key words: brush, undesirable vegetation, bulldozer, feedrate, clearing of the pipeline location.

Введение. Ежегодно трасса магистрального нефтепровода (МН) расчищается от древесно-кустарниковой растительности (ДКР) ручным или механизированным способом. Особенности расчистки трассы связаны с тем, что транспортировка автотракторной техники должна выполняться по постоянным маршрутам и только по вдольтрассовым дорогам или оборудованным вдольтрассовым проездам, расположенным на расстоянии не менее 10 м от оси нефтепровода [8]. Транспортная схема и маршрут движения техники должны включаться в состав мероприятий по сохранности МН, которые являются неотъемлемой частью «Разрешения на производство работ в охранной зоне» [5]. Транспортировка техники в охранной зоне нефтепровода должна выполняться только по нарядам-допускам [5].

Полоса земли шириной не менее 3 м от оси с каждой стороны нефтепровода должна содержаться в расчищенном состоянии (от деревьев, кустарников, поросли) [7] - расчистка обязательна. При расчистке трассы техника не должна подъезжать близко к нитке нефтепровода. Повреждения наездом тяжелой техники на нефтепровод могут привести к образованию поверхностных вмятин, трещин, разрывов в сварных швах и по телу трубы. Также передвижение тяжелой техники близко к нефтепроводу может привести к вибрации трубопровода, вызванной неуравновешенностью движущихся масс, износом подшипников и т.д.

При расчистке трассы нефтепровода от ДКР с помощью техники необходимо предусмотреть передвижение машины на максимальном удалении от оси нефтепровода - применять манипуляторные кусторезы с фланговым расположением относительно полосы расчистки.

Способы расчистки при фланговом расположении могут быть различными. Кусторезом на базе ходовой части ЛП-19, расчистка осуществляется передвижением кусторезной головки стрелой манипулятора [4]. Возможно применение многодисковых рабочих органов. Ширина полосы расчистки зависит от размеров рабочего органа, которым осуществляется срезание поросли. Рабочие органы, кусторезные головки могут крепиться на базе различной специализированной техники.

Рассмотрим работу многодискового кустореза на базе бульдозера Четра Т11С. Ходовая часть бульдозера приспособлена к перемещению по лесу.

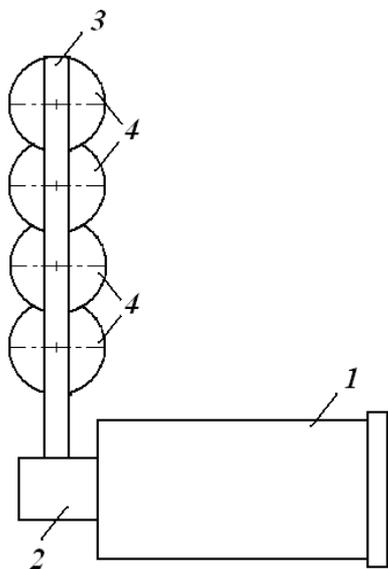


Рисунок 1. Принципиальная схема бульдозера для срезки кустов и пней:

1 – бульдозер; 2 – навеска;

3 – рабочий орган; 4 – дисковые пилы

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) [9].

Применение нескольких пильных головок в одном рабочем органе во много раз повышает производительность расчистки трассы и экономит время. При этом один и тот же рабочий орган кустореза может быть установлен на разные машины. При этом частично изменяется только конструкция оборудования с подвеской.

Пильный механизм представляет собой последовательно расположенные на корпусе четыре открытых пильных диска диаметром 2300 мм.

Машина АСК-16М предназначена для скашивания кустарника, поросли и маломерных деревьев диаметром до 8 см. Параметры зубчатого венца кусторезной головки АСК-16М по нашему предложению следующие (по сравнению с АСК-16 изменено количество зубьев), предложены в таблице 1.

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

Для расчета энергосиловых показателей кустореза необходимо учитывать самые неблагоприятные условия на трассе МН (максимальную густоту, максимальные диаметры растений, наличие пней, оставшихся от предыдущих расчисток). В ходе проведенного эксперимента по методике [6] выявили, что самые плохие условия для механической расчистки трассы МН 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./м².

Скорость подачи u зависит от коробки передачи бульдозера (в нашем случае гидростатическая трансмиссия), 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 при диаметре диска 2,3 м будет равна $v = \pi d v / 60 = 3,14 * 2,3 * 9 / 60 = 1,08$ м/с.

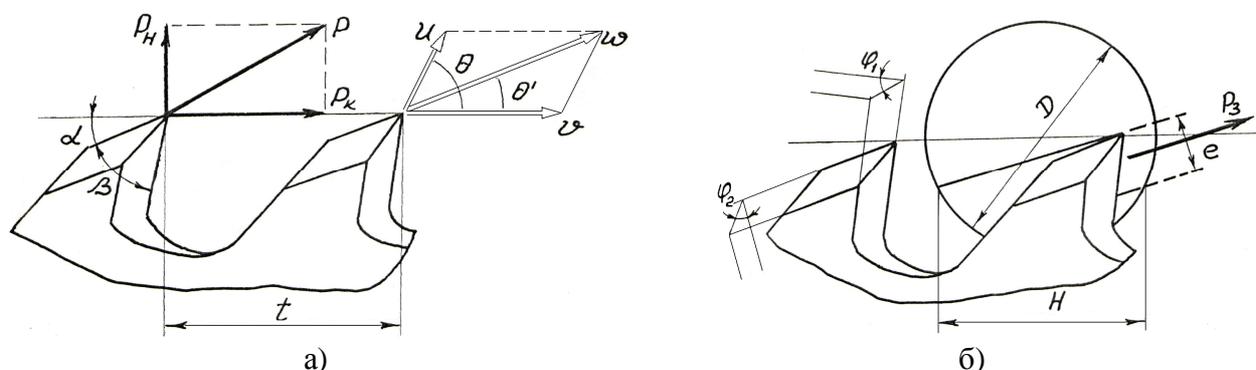


Рисунок 2. Расчетные схемы для определения усилий бесстружечного резания деревьев зубьями подвижного ножа: D - диаметр среза; t - шаг зубьев; H - высота реза; e - толщина реза; α - контурный задний угол; β - контурный угол заострения; φ_1 - передний угол заострения;

φ_2 - задний угол заострения; u - скорость подачи; v - скорость инструмента; ω - скорость резания;
 θ - угол подачи; θ' - угол движения; P_H - нормальная сила; P_K - касательная сила;
 P_3 - сила резания на одном зубе; P - общая сила резания

По схеме на рисунке 2б происходит бесстружечное поперечное резание древесины по высоте реза H и толщине реза e . Толщина реза при бесстружечном резании дерева [3] значительна и вычисляется по формуле

$$e = cv \sin \theta / \omega, \quad (1)$$

где подача на зуб определяется по формуле

$$c = tu / v, \quad (2)$$

при этом скорость резания (рисунок 2) равна

$$\omega = \sqrt{u^2 + v^2 + 2uv \cos \theta}, \quad (3)$$

следовательно, получим

$$e = tu \sin \theta / \sqrt{u^2 + v^2 + 2uv \cos \theta}. \quad (4)$$

Угол движения запишем в виде

$$\theta' = \arctg(u \sin \theta / (v + u \cos \theta)). \quad (5)$$

Получим частные формулы при $\theta = 90^\circ$ ($\cos \theta = 0$, $\sin \theta = 1$)

$$\omega = \sqrt{u^2 + v^2}, \quad (6)$$

$$e = tu / \sqrt{u^2 + v^2}, \quad (7)$$

$$\theta' = \arctg(u / v). \quad (8)$$

Силу P_3^D , действующую на один зуб вдоль вектора скорости резания ω , при условии срезания без изгиба ствола диаметром в интервале от 0,5 до 8,0 см, рассчитываем по формуле [3].

$$P_3^D = 19,615 + 0,002686D^{3,5346}, \quad (9)$$

где D - диаметр ствола растения, см.

На зубья кустореза с четырьмя дисковыми головками общее усилие резания равно

$$P = a_c^B P_3, \quad (10)$$

где a_c^B - число одновременно срезаемых конструкцией стволов по всей ширине захвата, $B = 8$ м.

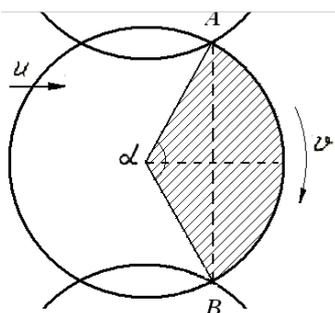


Рисунок 3. Схема дуги рабочей зоны зубчатого диска

При боковой подаче кустореза рабочая зона зубчатого диска кусторезной головки составляет часть длины окружности вершин зубьев – дуга рабочей зоны

$$\cup AB = \frac{d}{2} \alpha, \quad (11)$$

где α - центральный угол.

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{AB/2}{d/2} = \frac{AB}{d} = \frac{2000}{2300} = 0,869565 \text{ рад.} \quad (12)$$

Тогда $\alpha = 2 \arcsin 0,869565 = 2 \times 1,0543 = 2,1086 \approx 2,1$ рад. Подставив полученное значение α в формулу (12), получили $\cup AB = 2,1 \times 2300 / 2 \approx 2415$ мм.

Количество зубьев рабочей зоны вычисляем по формуле

$$Z_p = \frac{\cup AB}{t}, \quad (13)$$

при условии $a_c^{\max} \leq Z_p$. При $t = 80$ мм, $Z_p = 30$ шт.

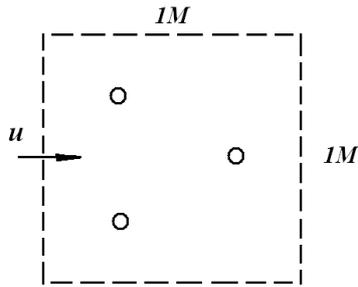


Рисунок 4. Условное распределение растений на 1 м^2 трассы МН

Учитывая, что максимальная густота растений $n_{\max} = 2,81 \approx 3$ шт./ м^2 , количество одновременно срезаемых кустов и пней a_c^{\max} одним зубчатым диском будет равна 2 шт./м, тогда число одновременно срезаемых конструкцией стволов на ширине 8 м представлено формулой

$$a_c^B = 4a_c^{\max} = 8, \quad (14)$$

где 4 – это количество зубчатых дисков на корпусе кустореза.

Общую касательную силу P_K на зубчатые диски вычислим по всем одновременно срезаемым деревьям по формуле

$$P_K = P \cos \theta' = a_c^B (19,615 + 0,002686 D_{\max}^{3,5346}) \cos \theta' \leq [P_p], \quad (15)$$

$[P_p]$ - определяется по прочности зуба и диска.

Нормальную силу кустореза находим по формуле:

$$P_H = P \sin \theta' \leq [P_H], \quad (16)$$

$[P_H]$ - определяется по прочности диска и корпуса кустореза.

Мощность на резание N_v и на движение подачи N_u кусторезной головки вычисляется по простым формулам:

$$N_v = P_K v; \quad (17)$$

$$N_u = P_H u. \quad (18)$$

Мощность перемещения представляет собой сумму мощности подачи кусторезной головки на кусты (18) и мощности на преодоление сопротивления движения машины

$$N_{\Pi} = N_u + N_C. \quad (19)$$

Мощность на преодоление сопротивления движения машины

$$N_C = fuG = fuMg, \quad (20)$$

где f - коэффициент сопротивления гусеничного движителя 0,07...0,15 [1]; u - скорость перемещения, м/с; G - вес машины, $G = Mg$, где M - масса машины, кг; g - ускорение силы тяжести, 9,81 м/с².

Установленную мощность двигателя находим по формуле:

$$N_y = \frac{N_v}{\eta_k} + \frac{N_{\Pi}}{\eta_M} \leq [N_y], \quad (21)$$

где η_k - КПД кусторезной головки, 0,9 [3]; η_M - КПД трансмиссии машины, 0,7 [9]; N_v - мощность на резание кусторезной головки; N_{Π} - мощность на перемещение; $[N_y]$ - мощность бульдозера по паспорту, 132 кВт.

Чтобы рассчитать рабочую скорость движения бульдозера, подставим все известные значения и приведем формулы к одной неизвестной - u .

Толщина реза (8) при $t = 80$ мм, $v = 1,08$ м/с принимает вид

$$e = 80u / \sqrt{u^2 + 1,1664}. \quad (22)$$

Угол движения для (9) при $v = 1,08$ м/с находим по формуле

$$\theta' = \arctg(u/1,08). \quad (23)$$

По схеме (рисунок 2б) резанья видно, что диаметр срезается за несколько раз. Формула общего усилия резания имеет вид

$$P = a_c^B P_3^e = 8P_3^e, \quad (24)$$

где P_3^e - сила, действующая на один зуб вдоль вектора скорости резания ω .

$$P_3^e = P_3^D e / D, \quad (25)$$

где D - максимальный диаметр ствола, 80 мм, e - толщина реза, P_3^D - сила, действующая на один зуб (10) и является величиной постоянной $P_3^D = 23795$ Н.

Полученное значение P_3^D и максимальный диаметр поместим в формулу (27), тогда

$$P_3^e = 23795e / 80 = 279,4e. \quad (26)$$

Подставим все известные значения в слагаемые N_v , N_{Π} формулы установленной мощности двигателя (21), тогда мощность перемещения при $M = 18712$ кг, $g = 9,81$ м/с², $f = 0,11$ имеет вид

$$N_{\Pi} = N_u + 20192u, \quad (27)$$

а мощность резания N_v , при $v = 1,08$ м/с равна:

$$N_v = 1,08P_k. \quad (28)$$

Учитывая все полученные формулы, получим следующую математическую модель для расчета скорости движения бульдозера с кусторезом (скорости подачи u):

$$\begin{cases} N_y = \frac{N_v}{\eta_K} + \frac{N_{II}}{\eta_M}; \\ N_{II} = N_u + 20192u; N_u = P_H u; P_H = P \sin \theta'; \\ N_v = 1,08 P_K; P_K = P \cos \theta'; \theta' = \arctg(u/1,08); \\ P = 8P_3^e; P_3^e = 279,4e; e = 80u / \sqrt{u^2 + 1,1664}. \end{cases} \quad (29)$$

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 $N_y \leq [N_y]$. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчетов по модели (29)

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	2,06	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
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, 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.

Заключение. Таким образом, рабочая скорость подачи 0,55 м/с (1,98 км/ч) 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.

Список литературы

1. Бульдозеры и скреперы. Сопротивления машин и движущие силы [Электронный ресурс] // ООО «Спецтехимпекс» : сайт. - Киев, 2006. – Режим доступа: <http://www.tehimpek.kiev.ua/articleview.php?id=676> (дата обращения: 27.02.2013).
2. Мазуркин П.М. Бесстружечное срезание кустарника и поросли // Известия вузов. Лесной журнал. - 1991. - № 1. - С. 35-39.
3. Мазуркин П.М. Обоснование параметров модульных рабочих органов лесозаготовительных машин на начальных стадиях проектирования : дис. ... д-ра тех. наук. – Йошкар-Ола, 1995. – С. 403.
4. Мазуркин П.М., Пинчук В.М., Котиков В.И. Манипуляторные кусторезы. – Йошкар-Ола : МарПИ, 1992. – 106 с.
5. ОР 15.00-45.21.30-КТН-003-1-01 Регламент организации производства ремонтных и строительных работ на объектах магистральных нефтепроводов. Утвержден 23.10.2001. - М., 2003.
6. Способ испытания растительного покрова на участках трассы продуктопровода : патент 2473898 Российская Федерация, МПК G 01 33/46, A 01 G 23/00 (2006.01). / 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.
7. РД-13.100.00-КТН-196-06 Правила безопасности при эксплуатации магистральных нефтепроводов. - М., 2006.
8. СНиП 2.05.06-85 Магистральные трубопроводы*. - М., 1997.
9. Четра Т11С [Электронный ресурс] // ЧЕТРА. Промышленные машины: сайт. ОАО «ЧЕТРА-Промышленные машины». Чебоксары, 2012. – Режим доступа: <http://www.chetra-im.com/catalog/buldozery/t11s/> (дата обращения 27.02.2013).

Рецензенты:

Салихов Мухаммет Габдухаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола.

Колупаев Борис Иванович, доктор биологических наук, профессор, кафедра водных ресурсов, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола.