

УДК 630*383.7.001

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКИ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ВОЛОКОВ И ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ В ГОРАХ

А. Н. ПИКУШОВ

Кавказский филиал ЦНИИМЭ

Для повышения уровня эксплуатации горных лесов густоту транспортной сети необходимо увеличить в 3 раза и довести протяженность горных лесовозных дорог не менее чем до 15 м на 1 га. В связи с этим следует выполнить очень большие объемы земляных работ, что требует применения более совершенных машин и технологических процессов.

Условия работы землеройных машин в горах специфичны. Разрабатываются прочные и неоднородные по составу грунты на крутых склонах, в основном в полувыемках. Грунт перемещается в полунасыпи или в отвал, т. е. поперек направления трассы, тогда как для обеспечения минимальной минерализации почвы на склонах машины должны двигаться вдоль трассы.

В Кавказском филиале ЦНИИМЭ получены математические модели показателей производительности машин и энергоемкости технологических процессов: рыхления, разработки и перемещения грунта при подготовке трелевочных волоков, пионерных полок и полотна лесовозных дорог на склонах гор. Установлены зависимости энергоемкости процессов и производительности машин от условий работы, принципиальной схемы и параметров машин.

Затраты энергии на рыхление 1 м³ грунта тракторным рыхлителем при челночном движении

$$a_{\text{ч}} = \frac{1,43}{b_p n_p} \left\{ Q_p n_z (1 + \delta + q f_2 + q f_2 \delta) + G_m f_2 \left(2 + \delta - \frac{b_p}{B} \right) + V_v f_n [\gamma_{\text{гр}} + K_{\text{вкл}} (\gamma_{\text{вкл}} - \gamma_{\text{гр}})] \right\}, \quad (1)$$

где b_p — ширина полосы рыхления за один проход;
 h_p — глубина рыхления;
 Q_p — сопротивление рыхлению одним зубом;
 n_z — число одновременно работающих зубьев;
 δ и f_2 — коэффициенты буксования и сопротивления перемещению машины;
 q — отношение вертикальной реакции грунта на зуб к горизонтальной;
 G_m — нагрузка от массы машины;
 B — ширина участка рыхления;
 V_v — объем призмы волочения перед зубьями;
 f_n — коэффициент трения призмы о поверхность;
 $\gamma_{\text{гр}}$ и $\gamma_{\text{вкл}}$ — нагрузка, создаваемая 1 м³ грунта и включений;
 $K_{\text{вкл}}$ — удельное содержание включений в призме.

Анализ уравнения (1) показывает основные направления совершенствования технологического процесса и машин для рыхления прочного грунта при подготовке лесотранспортных путей в горах: уменьшение объема призмы волочения, валунов и скальных обломков перед зубьями рыхлителя (V_v); повышение напорного усилия на заглубляе-

мых зубьях, увеличение числа одновременно работающих зубьев (n_3) и ширины полосы рыхления за один проход (b_p). Обоснованы следующие пути реализации этих направлений.

1. Приведение параметров рабочего оборудования рыхлителей в соответствие с условиями их применения: увеличение вылета зубьев и просвета под поперечной балкой; установка рамы рыхлителя в рабочем положении под углом к опорной поверхности. Это способствует выходу из-под рамы рыхлителя валунов, скальных обломков и других включений, что уменьшает объем призмы волочения.

2. Изменение параметров рыхлителя в связи с изменчивостью характеристик грунтов вдоль трассы. Это достигается изменением положения верхней точки крепления гидроцилиндра подъема и опускания рабочего органа рыхлителя [2]. При переходе на более прочные грунты уменьшается максимальная глубина рыхления и соответственно увеличивается угол рыхления.

3. Изменение принципиальной схемы рыхлителя — удаление поперечной балки и установка зубьев на отдельных продольных рамах с гидроприводом подъема и опускания каждого зуба рыхлителя [4, 7]. Такая схема позволяет обеспечить свободный выход из-под рам разрыхляемого грунта и выворачиваемых включений и свести к минимуму призму волочения, устранить тяжелый ручной труд по изменению числа работающих зубьев в зависимости от условий работы рыхлителя, повысить напорное усилие на зубьях путем их последовательного заглубления и увеличить число одновременно работающих зубьев.

4. Применение технологического процесса рыхления грунта при последовательном заглублении зубьев позволяет полнее использовать тяговые возможности базового трактора, так как исключаются ограничения по условиям заглубления зубьев (рис. 1), увеличить ширину полосы рыхления за один проход и повысить производительность рыхлителя в 1,5—2,0 раза на грунтах, разрыхляемых двумя и тремя зубьями. Снижаются также удельные затраты энергии на 11...13 % (рис. 1), так как уменьшается число проходов и затраты энергии на перемещение самой машины.

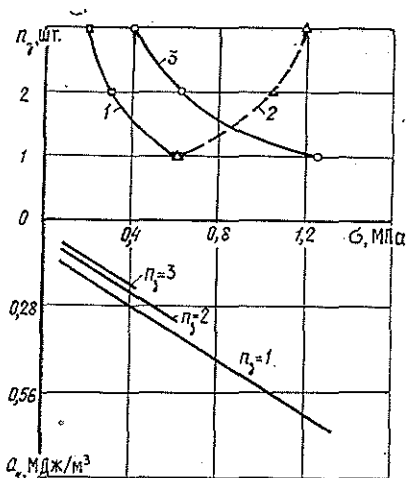


Рис. 1. Влияние числа одновременно работающих зубьев (n_3) на энергоемкость технологического процесса рыхления (a) и прочность грунта, который может быть разрыхлен рыхлителем (σ): 1 — по условиям одновременного заглубления зубьев; 2 — по условиям последовательного заглубления зубьев; 3 — по тяговым возможностям базового трактора (длина участка рыхления 50 м, ширина — 10 м)

Математическая модель технологического процесса разработки и перемещения грунта поперек направления трассы, позволяющая определить энергоемкость процессов устройства полувыемки на склоне и производительность машины, в наиболее общей форме имеет вид:

$$\begin{aligned}
 f_{\text{стр}} &= [P_{\text{к}} - G_{\text{м}}(f_2 \cos \psi + \sin \psi) - q_{\text{в}} V_{\text{п}} \gamma_{\text{гр}} (\sin \psi \sin \beta + \\
 &+ \mu \sin \beta \cos \psi + \mu \mu_1 \cos \Theta \cos \varphi \cos \psi + \mu_1 \cos^2 \alpha \sin \beta)] / K_f \sin \Theta; \\
 n_{\text{рез}} &= \frac{V}{(V_{\text{п}}/K_{\text{р}}) + f_{\text{стр}} [L_0 - 2V_{\text{п}}/K_{\text{р}} (f_{\text{м}} + f_{\text{стр}})]}; \quad L_0 = H/\sin \psi; \\
 n_{\text{пер}} &= \frac{VK_{\text{р}}}{f_{\text{пр}}} \left\{ \frac{L_{\text{гр}}}{(L_0 - l_{\text{н}}) l_{\text{к}}} - \frac{f_{\text{стр}} + [V_{\text{п}}(1 - q_{\text{в}})/K_{\text{р}}(L_0 - l_{\text{н}})]}{V_{\text{п}}/K_{\text{р}} + f_{\text{стр}}(L_0 - l_{\text{н}})} \right\}; \\
 l_{\text{н}} &= 2V_{\text{п}}/K_{\text{р}} (f_{\text{м}} + f_{\text{стр}}); \quad l_{\text{к}} = (H_0 + L_0 \sin \Theta)/2; \\
 L_{\text{п}} &= L_0 + \Delta L; \quad \Delta L = L_0 (\sin \Theta \operatorname{tg} \beta + \cos \Theta)/2; \quad \beta = \Theta + \varphi; \\
 T_{\text{к}} &= (L_0 n_{\text{рез}} + L_{\text{п}} n_{\text{пер}}) \left(\frac{1}{v_{\text{р}}} + \frac{1}{v_{\text{х}}} \right) + 2(n_{\text{рез}} + n_{\text{пер}}) t_{\text{н}}; \\
 A_{\text{н}} &= A_{\text{рез}} + A_{\text{пер}} + A_{\text{мн}} + A_{\text{мх}}; \quad A_{\text{рез}} = [P_{\text{к}} - \\
 &\quad - G_{\text{м}}(f_2 \cos \psi + \sin \psi)] L_0 n_{\text{рез}}; \\
 A_{\text{пер}} &= [H_0^2 L_0 \gamma_{\text{гр}} (\sin \psi \sin \beta + \mu \sin \beta \cos \psi + \mu \mu_1 \cos \Theta \cos \varphi \cos \psi) \times \\
 &\quad \times (L_0 + \Delta L/2) n_{\text{пер}}] / 2 \operatorname{tg} \varphi_{\text{отк}}; \\
 A_{\text{мн}} &= G_{\text{м}} (\sin \psi + f_2 \cos \psi) (L_0 n_{\text{рез}} + L_{\text{п}} n_{\text{пер}}); \\
 A_{\text{мх}} &= G_{\text{м}} f_2 \cos \psi (L_0 n_{\text{рез}} + L_{\text{п}} n_{\text{пер}}),
 \end{aligned} \tag{2}$$

где

 $f_{\text{стр}}$ — сечение вырезаемой стружки; $P_{\text{к}}$ — касательная сила, развиваемая двигателем; ψ — угол подъема, на котором ведется разработка грунта; $q_{\text{в}}$ — отношение объема призмы волочения при работе интенсификатора к максимальному объему призмы ($V_{\text{п}}$); μ и μ_1 — коэффициенты трения грунта о грунт и об отвал; Θ — угол остановки отвала в плане; φ — угол трения грунта об отвал; β — угол отклонения траектории грунта от нормали к направлению движения ($\beta = \Theta + \varphi$); α — угол резания; K_f — удельное сопротивление резания и деформации грунта; $n_{\text{рез}}$ — число проходов для отделения всего грунта объемом V в пределах полувыемки; $K_{\text{р}}$ — коэффициент разрыхления грунта; L_0 — длина хода машины вдоль полувыемки; $f_{\text{м}}$ — максимальное сечение стружки при $V_{\text{п}} = 0$; H — высота выемочного откоса; $n_{\text{пер}}$ — число дополнительных проходов для перемещения грунта поперек направления трассы на расстояние $L_{\text{гр}}$; $f_{\text{пр}}$ — поперечное сечение грунта, сходящего с отвала; $l_{\text{н}}$ — длина пути машины при наборе призмы грунта; $l_{\text{к}}$ — перемещение грунта поперек направления трассы за один проход; H_0 и L_0 — высота и длина отвала; $L_{\text{п}}$ — длина пути машины, необходимая для полного смещения в сторону всего отрезанного грунта;

- ΔL — дополнительная длина пути машины для полного смещения грунта с отвала;
- T_k — затраты времени на устройство полувыемки;
- v_p и v_x — скорость рабочего и холостого хода машины;
- t_n — время разворота машины;
- A_k — общие затраты энергии на устройство полувыемки;
- $A_{рез}$ — затраты энергии непосредственно на отделение грунта от массива и одновременное его перемещение в сторону;
- $A_{пер}$ — затраты энергии на перемещение отделенного от массива грунта;
- $A_{мп}$ и $A_{мх}$ — затраты энергии на перемещения машины при рабочих и холостых проходах;
- $\varphi_{отк}$ — угол откоса грунта, находящегося в призме волочения.

Анализ этой модели показывает, что основными направлениями совершенствования технологических процессов и машин для устройства трелевочных волоков, пионерных полок и полотна лесовозных дорог на склонах гор являются: увеличение сечения вырезаемой стружки ($f_{стр}$) и перемещения грунта поперек направления трассы за один проход (l_k). Обоснованы следующие пути реализации этих направлений.

1. Перемещение грунта конвейером, установленным за отвалом, вместо волочения призмы грунта перед ним [1]. Это позволяет в 1,1—1,6 раза повысить производительность машины и на 31...42% снизить удельные затраты энергии по сравнению с работой бульдозера с прямым отвалом по обычной технологии.

2. Подготовка полотна горной лесовозной дороги без холостых проходов машины путем изменения на ходу положения отвала в плане. При этом время затрачивается только на рабочие проходы и развороты машины. Производительность машины повышается в 1,6—1,8 раза, удельные затраты энергии снижаются на 7...8% по сравнению с работой косоустановленным отвалом, отваливающим грунт в нужном направлении только при одном направлении хода машины.

3. Разработка и перемещение грунта, при которых отделяемый от массива грунт удаляется за пределы отвала при помощи интенсификатора, а дополнительная энергия подводится непосредственно к грунту, минуя движитель базового трактора. Анализ модели (2) показывает, что удаление грунта приводит к существенному увеличению сечения стружки. С увеличением угла подъема ψ и уменьшением отношения q_v интенсивность увеличения сечения стружки возрастает. Это приводит к сокращению общего числа проходов. Удаление грунта только за пределы отвала позволяет снизить общее число проходов машины в 1,2—2,0 раза — при удалении 25% отделяемого от массива грунта ($q_v = 0,75$)

и в 1,7—4,0 раза при удалении 75% грунта (рис. 2). Обеспечение удаления грунта сразу на необходимое расстояние $L_{гр}$ позволяет уменьшить число проходов в 2,0—3,1 ра-

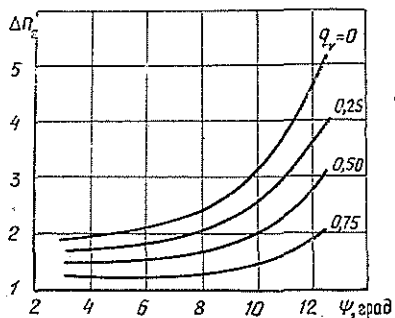
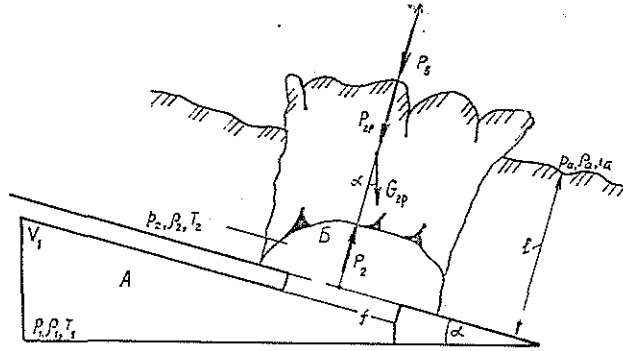


Рис. 2. Снижение общего числа проходов машины (ΔN_y), необходимых для устройства полувыемки на склоне шириной 3,2 м, при применении интенсивного технологического процесса с удалением грунта за пределы отвала

Рис. 3. Расчетная схема процесса выброса грунта сжатым газом



за при удалении 25 % грунта и в 3,0—6,8 раза при удалении 75 % грунта. Для условий горных лесозаготовок, где разрабатываются неоднородные по составу, переувлажненные, вязкие грунты с различными включениями, наиболее приемлем газоимпульсный способ [5], позволяющий подводить энергию непосредственно к грунту в виде энергии расширяющегося под грунтом газа (рис. 3). Математическая модель процесса взаимодействия сжатого газа с грунтом при импульсном освобождении энергии имеет вид

$$\left. \begin{aligned} V_1 \frac{dp_1}{dt} &= -Q; & F \frac{d(xp_2)}{dt} &= Q; & V_1 c_V \frac{d(p_1 T_1)}{dt} &= Q c_p T_1; \\ & & \dot{F} c_V \frac{d(xp_2 T_2)}{dt} + A p_2 F \frac{dx}{dt} &= Q c_p T_1; \\ m_{гр} \frac{d^2 x}{dt^2} &= F(p_2 - p_n) - \frac{S_{гр}(l-x)}{l} C - G_{гр} \cos \alpha. \end{aligned} \right\} (3)$$

В этих уравнениях:

$$\begin{aligned} p_2 &= p_2 R T_2; \\ p_n &= p_a \left\{ \frac{2k}{k+1} \left[\frac{(k+1) v_{гр}}{4a_a} + \frac{1}{2} \sqrt{4 + \left(\frac{k+1}{2a_a} v_{гр} \right)^2} \right]^2 - \frac{k-1}{k+1} \right\}; \\ Q &= A_1 p_1 T_1; \\ A_1 &= C_Q \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} f \sqrt{\frac{2k}{k+1}} R, \end{aligned}$$

где

- V_1 — объем газовой камеры;
- $p_1, \rho_1, T_1; p_2, \rho_2, T_2; p_a; \rho_a, T_a$ — давление, плотность и температура газа в газовой камере, в полости под грунтом и в окружающей воздушной среде;
- Q — расход газа;
- $m_{гр}, G_{гр}, S_{гр}, F$ и C — масса, сила тяжести, поверхность сдвига, площадь поперечного сечения и сцепление сдвигаемого грунта;
- x — перемещение грунта в сторону свободной поверхности;
- c_p и c_V — удельная теплоемкость газа при постоянном давлении и объеме;

- A — тепловой эквивалент механической работы;
 p_v — давление в окружающей воздушной среде, возмущенной выбрасываемым грунтом;
 l — глубина копания;
 R — газовая постоянная;
 k — показатель адиабаты расширения газа;
 a_a — скорость звука в воздухе;
 A_1 — коэффициент в формуле расхода газа $Q = A_1 \rho_1 \times \sqrt{T_1}$;
 C_Q — коэффициент расхода газа при истечении через отверстие;
 f — проходное сечение выпускного механизма.

Эта модель позволяет получить полную картину взаимодействия газа с грунтом — изменение по времени значений давления газа в камере и под грунтом, скорости перемещения и дальности выброса грунта, а следовательно, определить параметры газоимпульсного интенсификатора: объем газовой камеры, начальное давление газа в ней, проходное сечение выпускного механизма и степень расширения газа, при которых КПД устройства максимален [6]. Экспериментальным исследованием, проведенным на специально созданной установке [3], подтверждена правомерность математической модели и возможность непрерывного резания грунта с выбросом его газовыми импульсами за пределы отвала. Поэтому основным, перспективным направлением создания принципиально новых машин, многократно повышающих производительность на подготовке лесотранспортных путей в горах, является интенсификация процессов путем воздействия на грунт газовыми импульсами для отделения от массива и удаления грунта за пределы отвала на необходимое расстояние.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. А. с. 284716 СССР, Класс 84 d, 3/66, МПК Е 02 f 3/66. Бульдозер / А. Н. Пикушов, М. А. Думановский, А. И. Шаповалов, Р. А. Григорьянц, А. К. Воловик (СССР).— № 1356370/29—14; Заявлено 09.08.69 // Открытия. Изобретения.— 1970.— № 32.— С. 198—199. [2]. А. с. 293962 СССР, Е 02 f 5/30. Устройство для рыхления мерзлого грунта / А. Н. Пикушов, А. И. Шаповалов, А. П. Ливанов (СССР).— № 1356369/29—14; Заявлено 09.08.69 // Открытия. Изобретения.— 1971.— № 6.— С. 101. [3]. А. с. 524881 СССР, МКИ² Е 02 F 3/76; Е 02 F 5/30; Е 02 F 3/62. Устройство для разрушения грунта продуктами детонации / Л. А. Резник, Д. А. Гуревич, В. П. Кузнецов, А. Н. Пикушов (СССР).— № 2129447/22—3; Заявлено 29.04.75 // Открытия. Изобретения.— 1976.— № 30.— С. 79. [4]. А. с. 696111 СССР, МКИ² Е 02 F 5/30. Рыхлитель / А. И. Шаповалов, А. Н. Пикушов, В. Г. Сухов (СССР).— № 2618405/29—03; Заявлено 23.05.78 // Открытия. Изобретения.— 1979.— № 41.— С. 118. [5]. Баловнев В. И. Дорожно-строительные машины с рабочими органами интенсифицирующего действия.— М.: Машиностроение, 1981.— 223 с. [6]. Пикушов А. Н. Влияние параметров газоимпульсного устройства на эффективность выброса грунта нарушенной структуры / Ред. журн. «Строительные и дорожные машины».— М., 1983.— 9 с., ил.— Деп. в ЦНИИТЭстроймаше 10.10.83, № 96 сд—Д83. [7]. СПО 10025 СССР, МКПО 15—04. Рыхлительное устройство / О. А. Андреев, А. И. Шаповалов, А. Н. Пикушов, А. А. Черняга, В. Я. Голубев, В. И. Жестовский (СССР).— Заявка № 18611; Приоритет 13.12.78 // Открытия. Изобретения.— 1980.— № 40.— С. 325.

Поступила 15 октября 1986 г.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.79

ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРИКЛЕИВАНИЯ
ПРИ ОБЛИЦОВЫВАНИИ КРОМОК МЕБЕЛЬНЫХ ЩИТОВ
С ПОМОЩЬЮ КЛЕЕВ-РАСПЛАВОВ

В. В. АМАЛИЦКИЙ

Московский технологический институт

Процесс приклеивания на кромкооблицовочном оборудовании состоит из последовательного формирования адгезионного соединения клея-расплава с материалом заготовки, адгезионного соединения клея-расплава с облицовочным материалом в зоне прикатки, когезионной прочности клеевого шва при остывании.

Определяющая характеристика процесса — температура клея-расплава в момент прижима облицовочного материала $T_{скл}$. Максимальная прочность приклеивания достигается при $T_{скл} = 120 \dots 135$ °С. Возможности оборудования для создания необходимой $T_{скл}$ ограничены.

Наши эксперименты показали, что стабильность процесса можно обеспечить предварительным подогревом и подсушиванием кромки щита перед нанесением клея-расплава за счет контакта поверхности кромки с нагревательным элементом. Для хорошего качества приклеивания необходимо также, чтобы к концу зоны прикатки температура клея-расплава уже не превосходила температуры его размягчения, равной 80 °С.

Задача сводится к определению температуры нагревательного элемента, при которой температура клея-расплава в момент прижима облицовочного материала равна 120 °С и не выше 80 °С в конце зоны прикатки. Для решения поставленной задачи разработана тепловая модель процесса приклеивания кромок.

Приклеивание кромок осуществляется на высокой скорости подачи $S = 15 \dots 40$ м/мин. Каждое поперечное сечение кромки подвергается воздействию следующих факторов процесса, которые можно считать установившимися: температуры окружающего воздуха T_f , температуры клея-расплава на поверхности клеевого ролика и т. д. Это позволяет рассматривать задачу переноса тепла как одномерную

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} \gg \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{x=0}; \quad \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} \gg \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{x=0}, \quad (1)$$

т. е. градиент температуры направлен перпендикулярно к поверхности кромки, и переносом тепла вдоль осей z и y можно пренебречь; перенос тепла осуществляется вдоль оси x с началом координат на поверхности кромки и положительным направлением вглубь материала. Задача сводится к определению зависимостей температуры T от координаты x и времени τ

$$T = f(x, \tau). \quad (2)$$

Рассмотрим последовательно тепловые процессы на этапах приклеивания кромок.

1. *Предварительный подогрев.* Установившаяся температура нагревательного элемента — T_w . Начальная температура материала щита —