

АНДРЕЙ ВИКТОРОВИЧ РОДИОНОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры механизации сельскохозяйственного производства агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
andrey.rodionov@mail.ru

АЛЕКСАНДР МАКСИМОВИЧ ЦЫПУК

доктор технических наук, профессор кафедры технологии и оборудования лесного комплекса лесинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
tsypouk@mail.ru

ОЛЕГ БОРИСОВИЧ МАРКОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры начертательной геометрии и инженерной графики строительного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
markov@psu.karelia.ru

АНАТОЛИЙ ЭВАЛЬДОВИЧ ЭГИПТИ

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии металлов и ремонта лесинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
evald@psu.karelia.ru

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ЛУНКООБРАЗОВАТЕЛЯ*

Представлены перспективные направления совершенствования конструкции динамического лункообразователя типа Л-2У для посадки леса.

Ключевые слова: динамический лункообразователь, совершенствование, посадка леса

Для механизации подготовки лунок для посадки растений при восстановлении леса на нераскорчеванных вырубках с каменистыми почвами в Петрозаводском университете разработан динамический лункообразователь типа Л-2У [5]. Теоретическое обоснование проектных параметров для опытных образцов и опытных партий динамических лункообразователей типа Л-2У выполнено в работах [1], [2], [3], [4], [5], однако при переходе от испытаний к производственной эксплуатации возникли как непредвиденные поломки при взаимодействии с препятствиями (удары о камни, пни) на вырубках, так и ряд новых идей по расширению функциональных возможностей машины. В настоящее время исследовательские работы рекомендуется вести в следующих основных направлениях: 1. Анализ нагруженности основных рабочих органов лункообразователя типа Л-2У при работе в среде препятствий (пни, камни) на вырубке с целью научного обоснования коэффициентов динамичности, необходимых для проектных и конструкторских работ при создании и совершенствовании машины. 2. Обоснование размеров, формы и типа поперечного сечения основных рабочих органов лункообразователя типа Л-2У, обеспечивающих минимальную металлоемкость конструкции при заданных параметрах нагружения машины при работе в среде препятствий. 3. Расширение тех-

нологических возможностей лункообразователя типа Л-2У путем обоснования проектных параметров рабочих органов и приспособлений, обеспечивающих подготовку почвы и посев семян.

В рамках исследований по первому направлению были выполнены исследования нагруженности рабочих органов машины при работе в среде препятствий на вырубке [1], [2], [3], [4], также была разработана новая методика [2], [4] моделирования соударения элементов лункообразователя типа Л-2У с препятствиями на вырубке, развивающая ранее выполненные исследования [1], [5]. Установлено (рис. 1, 2), что при ударе иглой на конце рычага Л-2У (наиболее опасная ситуация) о камень коэффициент динамичности равен $k_{din} = 465$, напряжение изгиба $\sigma = 275,9$ МПа, что больше допускаемого напряжения на изгиб углеродистой стали 5 (200 МПа), но меньше, чем предел ее прочности $\sigma_B = 500 \dots 620$ МПа (для легированных сталей $\sigma_B = 800 \dots 1000$ МПа) [6]. При ударе иглой на конце рычага Л-2У о минеральную почву коэффициент динамичности равен $k_{din} = 22$, напряжение изгиба $\sigma = 12,8$ МПа, что не превышает допускаемое напряжение на изгиб углеродистой стали 5 (200 МПа) [6].

Коэффициент перегрузки материала рычага (определяется как отношение коэффициента динамичности при соударении иглы на конце рычага с камнем к аналогичному коэффициенту

ту при соударении с почвой) составляет $k_{пер} = 21$. В перспективном варианте конструкции модернизированного динамического лункообразователя типа Л-2М (патенты РФ № 56 766, № 75 910) предусмотрен одноплечий рычаг, то есть без хвостовой части (рис. 4). В этом случае длина рычага равна 1,26 м. Другие характеристики рычага остаются без изменений по сравнению с Л-2У. В результате расчетов для двух аналогичных ситуаций соударения рабочего органа перспективного лункообразователя установлено, что при ударе иглой на конце рычага Л-2М о камень коэффициент динамичности равен $k_{дин} = 191$, напряжение изгиба $\sigma = 187,8$ МПа, что не превышает допускаемого напряжения на изгиб углеродистой стали 5 (200 МПа) и меньше, чем предел ее прочности $\sigma_B = 500...620$ МПа [6]. При ударе иглой на конце рычага Л-2М о минеральную почву коэффициент динамичности равен $k_{дин} = 49$, напряжение изгиба $\sigma = 49,7$ МПа, что не превышает допускаемое напряжение на изгиб углеродистой стали 5 (200 МПа) [6]. Коэффициент перегрузки материала рычага составляет $k_{пер} = 4$, что значительно ниже, чем в случае лункообразователя типа Л-2У.

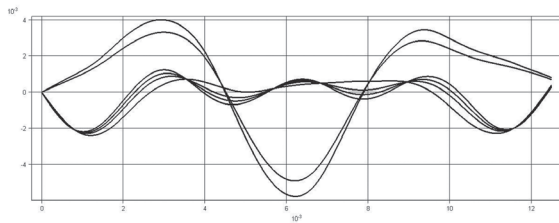


Рис. 1. Зависимость перемещений точек хвостовой (короткие) и передней (длинные волны) частей рычага от времени при соударении иглы с камнем. По оси ординат – перемещение в метрах, по оси абсцисс – время в секундах

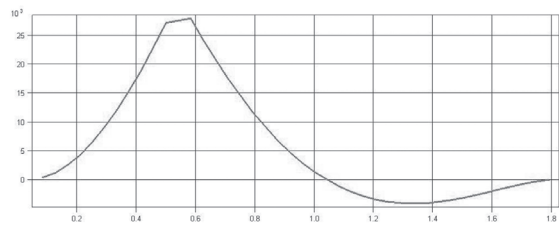


Рис. 2. Изменение величины изгибающего момента по длине рычага при соударении иглы с камнем. По оси ординат – величина момента в ньютон-метрах, по оси абсцисс – расстояние от левого торца хвостовой части рычага в метрах; $M_{max} = 27917,5$ Н · м

В рамках исследований по второму направлению были выполнены исследования по обоснованию наилучшего профиля поперечного сечения основного рабочего органа динамического лункообразователя – рычага с шарнирно закрепленной на его конце иглой – по критерию минимальной металлоемкости [3]. По конструктивным соображениям рычаг лункообразователя Л-2У изготавливается как двуплечий, коробчатого сечения, сварной из двух швеллеров № 12

(по ГОСТ 8240-97), материал сталь 5 (рис 3 а) [5]. Для сравнения с имеющейся формой профиля поперечного сечения рычага были выбраны следующие предпочтительные с конструктивной точки зрения формы полых поперечных сечений (рис. 3 б, в, г, д): квадратная, прямоугольная, круглая и овальная.

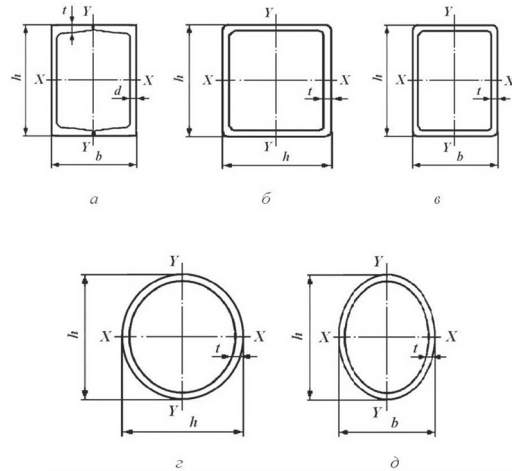


Рис. 3. Формы полых поперечных сечений рычага: а – коробчатое из двух швеллеров; б – квадратное; в – прямоугольное; г – круглое; д – овальное; h – высота сечения, м; b – ширина сечения, м; d, t – толщина стенки сечения, м

Результаты сравнения сечений рычага

Сравнение по моменту инерции						
№	$h, м$	$b, м$	$J_x, м^4$	$d, м$	$t, м$	$m_{п}, кг/м$
а	0,12	0,104	$608 \cdot 10^{-8}$	0,0048	0,0078	20,80
б	0,12	—	$608 \cdot 10^{-8}$	—	0,0062	22,06
в	0,12	0,104	$608 \cdot 10^{-8}$	—	0,0071	23,28
г	0,12	—	$608 \cdot 10^{-8}$	—	0,0122	32,48
д	0,12	0,104	$608 \cdot 10^{-8}$	—	0,0147	35,22

Сравнение по моменту сопротивления						
№	$h, м$	$b, м$	$W_x, м^3$	$d, м$	$t, м$	$m_{п}, кг/м$
а	0,12	0,104	$101 \cdot 10^{-6}$	0,0048	0,0078	20,80
б	0,12	—	$101 \cdot 10^{-6}$	—	0,0081	28,39
в	0,12	0,104	$101 \cdot 10^{-6}$	—	0,0091	29,39
г	0,12	—	$101 \cdot 10^{-6}$	—	0,0157	40,38
д	0,12	0,104	$101 \cdot 10^{-6}$	—	0,0184	42,47

Сравнение по полярному моменту сопротивления						
№	$h, м$	$b, м$	$W_p, м^3$	$d, м$	$t, м$	$m_{п}, кг/м$
а	0,12	0,104	$84 \cdot 10^{-6}$	0,0048	0,0078	20,80
б	0,12	—	$84 \cdot 10^{-6}$	—	0,0051	18,51
в	0,12	0,104	$84 \cdot 10^{-6}$	—	0,0091	29,39
г	0,12	—	$84 \cdot 10^{-6}$	—	0,0055	15,45
д	0,12	0,104	$84 \cdot 10^{-6}$	—	0,0061	15,93

Примечание. h – высота сечения, м; b – ширина сечения, м; d, t – толщина стенки сечения, м; J_x – момент инерции сечения, $м^4$; W_x – момент сопротивления сечения, $м^3$; W_p – полярный момент сопротивления сечения, $м^3$; $m_{п}$ – погонная масса рычага, $кг/м$

Результаты сравнения представлены в таблице (нумерация профилей поперечных сечений принята по рис. 3). Установлено, что наилучшим образом сопротивляется изгибам во всех направлениях поперечное сечение, профиль которого сформирован из двух швеллеров № 12

с уклоном внутренних полок (по ГОСТ 8240-97). Квадратный полый профиль поперечного сечения можно рекомендовать для тех случаев, когда изготовление рычага из двух швеллеров представляется нецелесообразным. Дальнейшие исследования в этой области рекомендуется вести в направлении подбора стандартных конструктивных элементов для профиля сечения с помощью комплексов специальных программ для ПЭВМ типа «SCAD Office», «ЛИРА» и др., а также изучить перспективы изготовления рычага из профиля нестандартного сечения.

В рамках исследований по третьему направлению были разработаны два варианта высевающего устройства к лункообразователю: механическое [1], [2] и более совершенное – пневматическое (рис. 4).

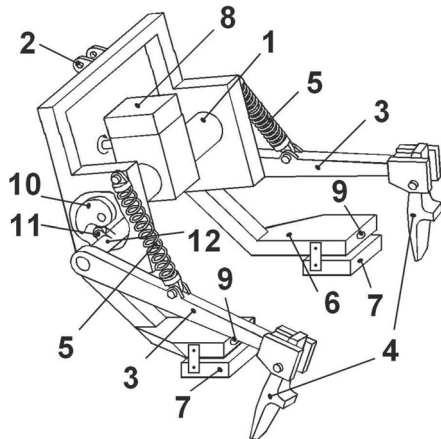


Рис. 4. Лункообразователь типа Л-2М с установленным пневматическим высевающим приспособлением

Механическое высегающее устройство является сменным приспособлением к лункообразователю Л-2У, устанавливаемым вместо игл. Приспособление предназначено для строчно-луночного посева мелких сыпучих семян (преимущественно хвойных древесных пород) по минерализованным полосам одновременно с об-

работкой почвы. Лункообразователь типа Л-2М с пневматическим высевающим приспособлением содержит (рис. 4): остов (1), навесное устройство (2) для соединения с трактором (трактор не показан), по бокам остова смонтированы рычаги (3) с шарнирными иглами (4), регуляторы энергии в виде пружин сжатия (5), лыжеобразные полозья (6), оснащенные снизу устройствами для поверхностной обработки почвы (7), на остова также смонтировано устройство для выделения порций семян с воздухомagnetателем (8), внутри остова проложены семяпроводы (не показаны), заканчивающиеся выходными окнами (9) на лыжеобразных полозьях. Лункообразователь типа Л-2М с пневматическим высевающим приспособлением без дополнительной переналадки режимов работы обеспечивает подготовку ямок для посадки растений, посев семян или поверхностную обработку почвы для восстановления леса на вырубках. В настоящее время коллективом авторов ведутся исследовательские и опытно-конструкторские работы по обоснованию проектных параметров лункообразователей типа Л-2У и Л-2М, оснащенных высегающими приспособлениями, а также разработка технологий их рационального применения на вырубках в среде препятствий.

ВЫВОДЫ

1. Динамический лункообразователь типа Л-2У со сменными высегающими приспособлениями позволяет механизировать трудоемкие работы по подготовке почвы для посадки растений, посев лесных семян и содействует естественному лесовозобновлению.

2. Представленные в статье направления исследований и уже достигнутые результаты позволяют успешно завершить работы по созданию эффективной, универсальной машины для лесовосстановления на основе динамического лункообразователя типа Л-2У, работоспособной в среде препятствий (пни, камни) на вырубках.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития (ПСР) ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марков О. Б. Обоснование параметров рычажно-кулачкового механизма динамического лункообразователя для посадки лесных культур: Дис. ... канд. техн. наук. Петрозаводск, 2006. 163 с.
2. Родионов А. В. Рубка и восстановление леса на основе ресурсосберегающей технологии. М.: Флинта, 2006. 276 с.
3. Родионов А. В. Выбор поперечного сечения рычага динамического лункообразователя для посадки леса. Петрозаводск, 2008. 23 с. Деп. в ВИНТИ 29.10.2008, № 828-В2008.
4. Родионов А. В., Раковская М. И., Колесников Г. Н. Моделирование балочного элемента лесопосадочной машины как упругой механической системы с распределенной массой при соударениях // Вестник Поморского университета. 2006. № 4. С. 148–155.
5. Цыпук А. М. Повышение эффективности лесовосстановительных работ ресурсосберегающей технологией: Дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 1996. 299 с.
6. Фесик С. П. Справочник по сопротивлению материалов. 2-е изд., перераб. и доп. Киев: Будівельник, 1982. 280 с.