

АЛЕКСАНДР МАКСИМОВИЧ ЦЫПУК

доктор технических наук, профессор кафедры технологии и оборудования лесного комплекса лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет
tsypouk@mail.ru

АНАТОЛИЙ ЭВАЛЬДОВИЧ ЭГИПТИ

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии металлов и ремонта лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет
evald@psu.karelia.ru

ПОДРЕЗЧИК КОРНЕЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ДЛЯ ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКОВ

В статье представлена конструкция подрезчика корней горизонтального для лесных питомников. Рассмотрен процесс резания корней растений, определены параметры рабочего органа.

Ключевые слова: саженцы деревьев, лесной питомник, подрезчик корней, параметры резания корней

Ресурсосберегающая технология лесовосстановительных работ предполагает выращивание крупномерного посадочного материала без пересадки сеянцев из посевного отделения в школьное отделение питомника (перешkolивания), при этом возникает задача формирования компактной корневой системы сеянцев. С лесоводческой точки зрения [1] длина корневой системы крупномерного материала, предназначенного для механизированной посадки леса, должна находиться в пределах 0,20...0,25 м, то есть допускается отклонение $\pm 0,02$ м (с округлением) от средней величины. Наибольшее значение для приживаемости растений имеет наличие достаточного количества мелких сосущих корней, так называемая мочковатость.

С технологической точки зрения размеры корневой системы не должны превышать соответствующие размеры посадочного места, образуемого в лесокультурном слое почвы, то есть корневая система должна быть компактной.

В настоящее время задача формирования компактной корневой системы при выращивании в открытом грунте решена для растений, корни которых подрезаются скобой НВС-1,2 или плугом ВПН-2 перед выборкой из посевного отделения питомника и пересадки в школьное отделение [2]. Известна также машина КНУ-1,2, а. с. № 1605977, СССР, которая выполняет подрезку корней в процессе роста сеянцев [3]. Общее для перечисленных машин – толщина ножей не менее 8 мм, что обеспечивает их необходимую жесткость при установке без предварительного напряжения. При подрезке корней возможна пластическая деформация почвы, что меняет ее структуру вокруг развивающихся корней и может привести к их обнажению. Чтобы не допустить этого, толщина горизонтального ножа должна быть минимальной (не более 3 мм), угол заглубления его также стремится к минимуму. Для устойчивого обеспечения заданной глубины подрезки по всей ширине захвата тонкое

полотно ножа должно находиться в напряженном состоянии относительно стоек рамы. Кроме того, для чистого резания корней скорость ножа должна быть не менее 1,2 м/с [7].

Этим условиям отвечает конструкция корне-подрезчика ПК-1,2, разработанного в Петрозаводском госуниверситете [5]. Общий вид этой машины в агрегате с трактором МТЗ-82 представлен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид подрезчика корней горизонтального ПКГ-1,2 в агрегате с трактором МТЗ-82

Постоянство глубины подрезки корней достигается путем выполнения стоек корнеподрезчика гибкими, в виде пластин, внутренние поверхности которых установлены под углом в горизонтальной секущей плоскости к направлению движения подрезки корней. При работе подрезчика давление на стойки со стороны почвы вызывает дополнительные растягивающие усилия в рабочем органе (ноже), повышающие устойчивость его хода. Эти усилия связаны с силами, возникающими при смятии почвы стойками ножа. Расчетная схема подрезчика горизонтального ПКГ-1,2 представлена на рис. 2.

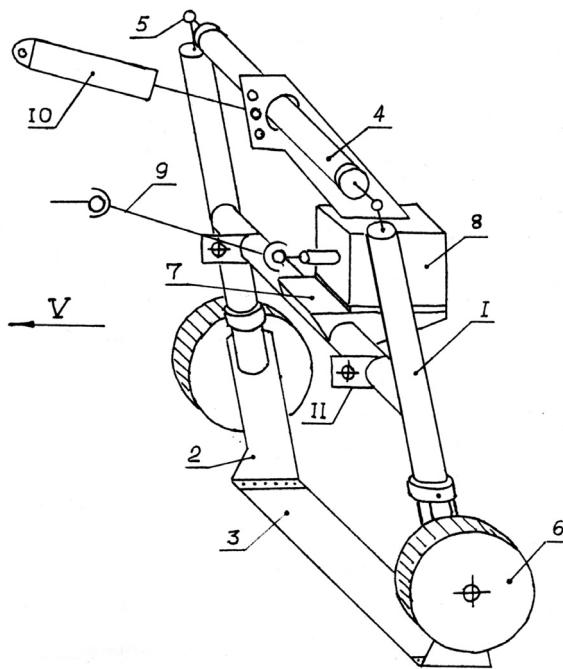


Рис. 2. Подрезчик корней горизонтальный для лесных питомников: 1 – рама; 2 – черенок; 3 – нож; 4 – стяжка; 5 – шарнир; 6 – опорное колесо; 7 – плита; 8 – вибратор; 9 – соединительный вал; 10 – регулятор угла резания; 11 – кронштейн навески

К нижним тягам трактора (на рис. 2 не показаны) подрезчик монтируется кронштейнами 11. Вместо центральной тяги навесной системы на трактор устанавливается гидроцилиндр 10, служащий для регулировки угла резания. Натяжение ножа 3 осуществляется поворотом стяжки 4, при этом усилие на нож передается через шарниры 5 и стойки рамы 1, заканчивающиеся черенками 2, к которым крепится нож. Регулирование хода ножа в почве осуществляется перемещением опорных колес 6 по вертикали. На плате 7 установлен вибратор 8 дебалансного типа (диск со смещенным центром вращения), приводимый в движение от вала отбора мощности трактора через соединительный вал 9 и коническую передачу. Диск установлен параллельно плоскости ножа.

Подрезчик работает следующим образом. Агрегат заезжает на рабочий гон питомника, подрезчик устанавливается в плавающее положение. Регулятором угла резания 10 (гидроцилиндром) нож 3 устанавливается под углом ко дну борозды и в этом положении по ходу заглубляется до упора колесами 6 в поверхность почвы. Затем нож переводится в горизонтальное положение и осуществляется подрезка корней сеянцев при движении агрегата вдоль гона. Нож выполнен из стального заточенного полотна толщиной 3 мм, его работа не вызывает рыхления почвы. При работе на липких почвах для самоочищения ножа включается вибратор 8. Предварительное натяжение ножа осуществляется стяжкой перед началом технологической операции. Необходимое рабочее натяжение производится за счет

растягивающих сил под давлением со стороны почвы на стойки ножа. Угол установки черенков 2 относительно продольного хода подрезчика зависит от внутреннего трения в почве и рекомендуется не более 45° , что обеспечивает самоочищение стоек ножа от почвы в реальных условиях эксплуатации, и не менее 15° для эффективного натяжения полотна ножа по результатам испытаний корнеподрезчика в производственных условиях. Техническая характеристика подрезчика корней ПК-1,2 приведена в таблице.

Техническая характеристика корнеподрезчика ПК-1,2

Параметр	Значение
Агрегатирование с тракторами	МТЗ-80/82
Частота вращения вала отбора мощности, об./мин	1013
Крутящий момент на входном валу, не более, Н·м (кГс·м)	60 (6,0)
Габаритные размеры с трактором, мм	
• длина	5400
• ширина	2000
• высота	2500
Масса без трактора, не более, кг	480
Древесная порода посадочного материала	Сосна, ель
Возраст в период подрезки, лет	2–4
Количество обрабатываемых рядов, не более	5
Ширина обрабатываемой полосы, не менее, м	0,5
Ширина захвата по колею трактора, м	1,2–1,5
Отклонение от заданной глубины, м	0,02
Рабочая скорость при горизонтальной подрезке корней, км/ч	4,26
Производительность при горизонтальной подрезке корней, га/ч	0,5
Комплектность корнеподрезчика ПК-1,2 и ПКВ-1,2	ПКГ-1,2 и ПКВ-1,2

Необходимость моделирования процесса работы корнеподрезчика была вызвана вопросами, возникшими в ходе его разработки и испытаний.

Рекомендации по выбору толщины рабочих органов для подрезки корней растений основаны на фундаментальных исследованиях в сельском хозяйстве [3]. В процессе резания корень должен скользить по ножу, обеспечивая его самоочищение. Это достигается установкой лезвия под углом к направлению движения либо достаточной скоростью резания, если нож установлен попрек движения.

При равной ширине захвата поперечный нож получается более коротким и прочным, а возможное забивание его корнями и липкой почвой можно компенсировать включением вибратора с частотой 1000 мин⁻¹ (что соответствует 2-му режиму вала отбора мощности трактора). Под влиянием вибрации коэффициент трения почва – сталь понижается примерно в 1,5 раза, и нож остается чистым в любых условиях [7]. Следует отметить, что на супесчаных почвах, преобладающих в лесных питомниках, для

очистки ножа от почвы и растительных остатков включения вибрации не потребовалось, поэтому вибратор следует устанавливать только по желанию заказчика.

С учетом вышеизложенного в конструкции подрезчика корней ПКГ-1,2 принято поперечное расположение ножа. Длина ножа составляет примерно 1200 мм, что соответствует ширине засеваемой полосы около 1 м при установленных в питомнике междуурядьях в пределах 1,2...1,4 м.

Ширина полотна по условиям его прочности принята 150 мм. Для изготовления ножа можно рекомендовать инструментальную листовую легированную сталь марки 9ХФМ (ГОСТ5950-2000) толщиной 2,5...3 мм. После придания ножу необходимых размеров производится термическая обработка: режим закалки от 820...840 °C, охлаждение в масляной среде на твердость 61...64 HRC с последующим отпуском в интервале 200...250 °C на твердость 55...58 HRC. В условиях лесного предприятия запасные ножи можно изготавливать из отходной части рамных пил. Схема к определению геометрических параметров рабочего органа горизонтального подрезчика представлена на рис. 3.

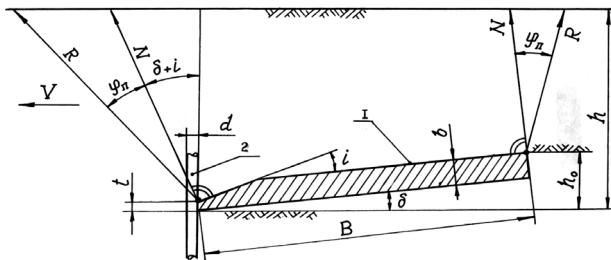


Рис. 3. Схема установки ножа горизонтального подрезчика корней: 1 – нож; 2 – перерезаемый корень, B – ширина ножа; b – толщина ножа; δ – угол установки плоскости ножа к горизонту; i – угол заострения; t – толщина лезвия; h – глубина подрезки; h_0 – деформация слоя почвы; d – диаметр корня; φ_n – угол внутреннего трения; N – граничный вектор давления ножа на почву; R – граничный вектор зоны напряжений в подрезаемом слое почвы

Геометрические параметры ножа определяются величинами, представленными на рис. 3, а также его длиной L (на рис. 3 не обозначено).

Толщина b ножа определена из прочностных характеристик материала (полотно рамной пилы) и с учетом ограничений по максимуму принята равной 2,5 мм. Ширина B ножа равна остаточной ширине рамной пилы (после многихerezatочек) и составляет 150 мм. Длина L ножа принята 1200 мм для обеспечения необходимой ширины захвата подрезчика корней. Угол i заострения принят в соответствии с известными рекомендациями [4] для плоскорежущих лап культиваторов в пределах 12...15°. Толщина t режущей кромки принята 0,3 мм. При большем затуплении ее следует затачивать.

Угол δ установки плоскости ножа к горизонту определяет механику обработки почвы. При увеличении δ возрастает интенсивность кроше-

ния почвы, одновременно растет величина h_0 ее деформации. Нижний предел величины деформаций в пределах упругости почвы составляет 0,3 от толщины подрезаемого слоя почвы [7]; если превысить его, то вероятно разрушение слоя и обнажение корней, что нежелательно при их подрезке.

Уменьшение угла δ обеспечивает лучшую сохранность подрезаемого слоя почвы, но снижает устойчивость хода ножа на заданной глубине. При испытаниях горизонтального подрезчика установлено, что при величине $\delta < 5^\circ$ возможно самовыглубление ножа (вследствие тягового усилия трактора) и уменьшение глубины подрезки, что проявляется в отрыве опорных колес от поверхности почвы.

Из условия сохранности подрезаемого слоя почвы максимальное значение угла установки плоскости ножа к горизонту определяется из выражения

$$\frac{b \cdot \cos \delta + B \cdot \sin \delta}{h} \leq [\lambda], \quad (1)$$

где $[\lambda]$ – допустимая величина относительной деформации слоя почвы, принята равной 0,3.

Минимальная глубина подрезки корней, согласно агротехническим требованиям (см. таблицу), составляет 0,08 м, с учетом допустимого отклонения 0,02 м она равна 0,06 м. При толщине ножа 2,5 мм и ширине 150 мм указанному значению $[\lambda]$ удовлетворяет величина $\delta = 6^\circ$, что подтверждается результатами испытаний корне-подрезчика. При увеличении глубины хода ножа величину δ можно повышать. Для использования в качестве проектного параметра на основании вышеизложенного угол δ в рабочем положении ножа рекомендуется в пределах 5...7°.

При установке угла δ в пределах 5...7° заглубление ножа в почву на заданную величину до 0,15 м (см. таблицу) осуществляется его скольжением параллельно плоскости установки, при этом путь перемещения агрегата составляет примерно 1,5 м. С учетом возникающих при заглублении ножа реакций почвы путь заглубления возрастает до 3,0 м, что нецелесообразно с точки зрения эффективности использования площади питомника. Рекомендуемая величина δ для быстрого заглубления плоскорежущих рабочих органов составляет 15° [7], устанавливается регулятором 10 (рис. 2), управляемым из кабины трактора. Силовые параметры процесса резания представлены величиной натяжения полотна ножа.

На рис. 3 представлена схема сил, действующих со стороны ножа на подрезаемый слой почвы (силы трения не указаны). При перемещении нож создает в подрезаемом слое почвы область напряжений, ограниченную векторами R и N . Механика возникновения такой области изучена [2]; граничные векторы отстоят от векторов нормального давления на угол внутреннего трения φ_n .

При движении плоскорежущего рабочего органа в почве верхняя граница области напряжений доходит до поверхности, что наблюдалось в виде ее вспучивания в зоне прохождения ножа.

Со стороны почвы на нож в вертикальной плоскости действует нагрузка, которая складывается из веса почвы, вертикальной составляющей сил трения и силы инерции вследствие скоростного подъема слоя почвы на высоту h_0 . Эта нагрузка распределяется по поверхности полотна, вызывает его прогиб и отклонение от заданной глубины хода, особенно в средней части обрабатываемой полосы. Площадь F_{II} подрезаемого слоя почвы в вертикальной продольной плоскости, то есть сечение области напряжений, определится по рис. 3.

$$F_{II} = \frac{h^2}{2} \cdot \operatorname{tg}(\varphi_{II} + \delta + i) + \frac{2h - B \cdot \sin \delta}{2} \cdot B \cdot \cos \delta + \\ + \frac{(h - B \cdot \sin \delta)^2}{2} \cdot \operatorname{tg}(\varphi_{II} - \delta) - B \cdot b. \quad (2)$$

При составлении модели принято допущение, что сечение ножа в продольной плоскости прямоугольное, при этом погрешность не превышает 1 %. Величина распределенной нагрузки на нож, действующей в вертикальном направлении, определится из выражения

$$q = F_{II} \cdot \rho \cdot (g + a_1 + g \cdot f \cdot \cos \delta \cdot \sin \delta), \quad (3)$$

где q – нагрузка, приведенная к длине полотна ножа, $\text{Н}/\text{м}$; ρ – плотность почвы, $\text{кг}/\text{м}^3$; g – ускорение свободного падения; a_1 – вертикальная составляющая ускорения, которое приобретает слой почвы, находящийся в напряженном состоянии при проходе ножа; f – коэффициент трения сталь – почва.

Величина a_1 определится из выражения

$$a_1 = \frac{2 \cdot (B \cdot \operatorname{tg} \delta + b) \cdot V^2}{B^2 \cdot \cos \delta}, \quad (4)$$

где V – скорость перемещения ножа, $\text{м}/\text{с}$.

Подставляя значения F_{II} и a_1 , вычисленные из предыдущих выражений, получим значение q , то есть распределенной по длине ножа нагрузки, под действием которой допускается прогиб ножа на величину, допускаемую требованиями к корнеподрезчику, – не более 0,02 м (см. таблицу).

Для контроля за правильностью регулировки натяжения полотна (рис. 2) удобнее использовать не распределенную, а сосредоточенную нагрузку, величина которой для одинакового прогиба ножа в средней его части определится известным выражением [6].

$$Q_C = \frac{q \cdot L}{1,6}, \quad (5)$$

где Q_C – сосредоточенная нагрузка, приложенная к центру ножа, эквивалентная по действию фактической распределенной нагрузке.

Рассмотрим пример расчета контрольной сосредоточенной нагрузки Q_C . Скорость агрегата при горизонтальной подрезке корней [4] устанавливается в диапазоне 1...3 $\text{м}/\text{с}$, для условий питомника в качестве верхнего предела примем среднюю величину. Глубину подрезки примем минимальную, $h = 0,08 \text{ м}$, так как при увеличении длины корней погрешность, связанная с прогибом ножа, будет иметь меньшее агротехническое значение.

Плотность супесчаной почвы при влажности около 12 % равна $1400 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\delta = 6^\circ$, $i = 14^\circ$, остальные параметры – в соответствии с рекомендованными. Угол $\varphi_{II} = 25^\circ$, коэффициент трения $f = 0,3$ (не более) [7]. Сечение пласта почвы F_{II} , находящегося в напряженном состоянии, равно $0,0143 \text{ м}^2$. Вертикальная составляющая $a_1 = 6,71 \text{ м}/\text{с}^2$. Величина q равна $337 \text{ Н}/\text{м}$, величина Q_C при максимальной длине ножа 1,2 м составит 253 Н.

Таким образом, чтобы обеспечить устойчивую работу ножа на заданной глубине хода, его полотно должно быть натянуто так, чтобы при установке на его центр груза массой около 26 кг прогиб полотна не превысил величины 0,02 м. Если в качестве контрольного использовать, например, груз массой 16 кг, то контрольный максимальный прогиб составит 0,013 м.

Использование при выращивании посадочного материала в лесных питомниках подрезчика корней горизонтального с научно обоснованными геометрическими и силовыми параметрами позволяет получать крупномерные сеянцы, по качеству соответствующие стандартным саженцам для восстановления леса на вырубках, без существенного увеличения производственных затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 24835-81. Саженцы деревьев и кустарников. Технические условия. Введ. 1983-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1983. 20 с.
- Зима И. М., Малюгин Т. Т. Механизация лесохозяйственных работ. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 416 с.
- Корнеподрезчик КНУ-1,2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.derev-grad.ru/mehanizaciya-i-avtomatizaciya-kornepodrezchik.html>
- Листопад Г. Е., Демилов Г. К., Зено Б. Д. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: АгроИздат, 1986. 688 с.
- Пат. 2097553 Российской Федерации, М. А 01 В 39/12, А 01 G 23/00. Подрезчик корней растений / А. М. Цыпук, А. Э. Эгипти; заявитель и патентообладатель Петрозаводский гос. ун-т. Опубл. 10.12.97. Бюл. № 34. 3 с.
- Фесик С. П. Справочник по сопротивлению материалов. Киев: Будивельник, 1982. 280 с.
- Цыпук А. М. Повышение эффективности лесовосстановительных работ ресурсосберегающей технологией: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1996. 35 с.