Boden-wissenschaften Institut fur Forsttechnik. – Wien, 2009. – p. 77.

3. Ersson, T. Possible concepts for mechanized tree planting in Southern Sweden - an introductory essay on forest technology [Text] / T. Ersson // Sveriges lantbruksuniversitet. – Umea, 2010. – p. 54.

4. Balsari, P. Operative and economic evaluation of machines for planting cuttings [Text] / P. Balsari, G. Airoldi, G. Facciotto // APAT, Atti. – 2003. – №5. – p. 9-17.

5. Equipment for reforestation and timber stand improvment [Text] // Forest Service Equipment Development Center. – Fort Missoula, Missoula, Montana. – 1980. – p. 266.

6. Lannen RT–20 operator's manual [Text] // Lannen Tehtaat Oyj. – 2004. – p. 31.

7. Laffan, M. D. Comparison of the effects of spot and strip cultivation on the early growth of Eucalyptus nitens and Pinus radiata in Tasmania [Text] / M. D. Laffan, P. Naughton, S. Hetherington, S. Rees // Tasforests. – 2003. – № 14. – p. 137-144.

8. Hall, P. Mechanical site preparation using excavators [Text] / P. Hall // NZ journal of forestry. – 1995. – p. 31-35.

9. Luoranen, J. Machine planting of Norway spruce by Bracke and Ecoplanter: an evaluation of soil preparation, planting method and seedling performance [Text] / J. Luoranen, R. Rikala, H. Smolander // Silva Fennica. – 2011. – № 45 (3). – p. 341-357.

10. Rantala, J. A techno economic evaluation of Bracke and M-Planter tree planting devices [Text] / J. Rantala, P. Harstela, V-M. Saarinen, L. Tervo // Silva Fennica. – 2009. – № 43 (4). – p. 659-667.

11. Tervo, L. Technical Development in Forest Regeneration in Finland [Text] / L. Tervo // Baltic Forestry. – 2000. – № 1. – p. 68-73.

12. Rantala, J. Productivity of the M-Planter tree-planting device in practice [Text] / J. Rantala, T. Laine // Silva Fennica. – 2010. – № 44 (5). – p. 859-869.

DOI: 10.12737/4529
УДК 630*232.32

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ КОРНЕЙ СЕЯНЦЕВ ПРИ ПОДРЕЗКЕ И ВЫКОПКЕ

доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник отдела лесовосстановления и семеноводства **В. И. Казаков**[1]
кандидат технических наук, главный специалист **И. В. Казаков**[2]
1 – ФБУ ВНИИЛМ
2 – ФБУ «Авиалесоохрана»
kazakov@vniilm.ru, inqm@yandex.ru

Одной из важных технологических операций при выращивании посадочного материала в лесных питомниках является подрезка корней сеянцев, которая проводится как при выращивании укрупненных сеянцев без перешколивания, так и при

выкопке посадочного материала. Для этой цели используются различные рабочие органы, учитывающие особенности их назначения и свойства почвы. Конструкции и геометрические параметры ножей для подрезки корней приведены на рис. 1 (черенковые ножи рис. 1, а – для подрезки боковых корней и комбинированные ножи рис. 1, б – для подрезки боковых и вертикальных корней).

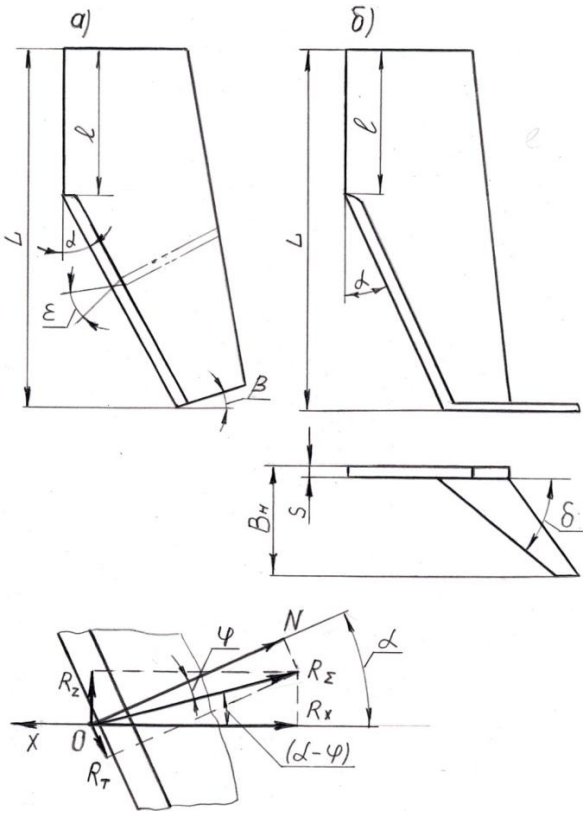

Рис. 1. Схема сил, действующих на рабочий орган корнеподрезчика

Сопротивление ножей резанию корней, соответственно для черенкового и комбинированного ножей, можно рассчитать по формулам:

$$R_X = k_н\, s\, h,$$

$$R_X = k_н\,(sh + (B_н - s)s), \qquad (1)$$

где $k_н$ – коэффициент удельного сопротивления почвы;

s – толщина лезвия ножа;

h – глубина резания;

$B_н$ ширина захвата ножа.

Необходимым условием устойчивой работы ножей является резания со сдвигом при отсутствии обволакивания лезвий корнями растений [1, 2]. Анализ сил, действующих на рабочий орган корнеподрезчика, показывает, что условием резания со сдвигом, горизонтально расположенных в почве корней, является выполнение следующего соотношения

$$N \operatorname{tg} \varphi < T, \qquad (2)$$

где $N = R \cos \alpha$ – нормальная составляющая силы R сопротивления резанию;

$T = R \sin \alpha$ – тангенциальная составляющая силы R сопротивления резанию;

α – угол наклона лезвия ножа;

φ – динамический угол трения почвы по стали.

Величина силы сопротивления резанию корня при этом определяется его свойствами и размерами. Расписав составляющие, получим: $R \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi < R \sin \alpha$. Отсюда: $\alpha > \varphi$. При невыполнении этого условия резание со сдвигом перейдет в невыгодное прямое резание (без относительного движения корня по лезвию), а при тупом лезвии (при больших углах заточки лезвия ножа ε) – к обволакиванию ножей корнями.

Для плоскорежущей части ножа (рис. 1.б) условие резания со сдвигом имеет вид

$$\delta < (\pi/2 - \varphi), \qquad (3)$$

при этом оптимальная величина угла атаки составит

$$\delta_{опт} = 0{,}5\,(\pi/2 - \varphi_{ср}), \qquad (4)$$

где $\varphi_{ср}$ – средняя величина динамического

угла трения почвы и корней по стали.

Для подрезки корней при выкопке посадочного материала применяется рабочий орган в виде U – образного ножа (рис. 2) и продольную составляющую суммарной силы сопротивления при движении его в почве можно выразить следующим выражением

$$R_X = k_н (2s(h - l_{осн} \sin \beta) + 05\pi R^2_н), \quad (5)$$

где $l_{осн}$ – длина основания ножа;

$R_н$ – радиус кривизны ножа;

$k_п$ – коэффициент удельного сопротивления почвы.

При резании различно ориентированных в почве по отношению к ножу корней к сопротивлению почвы по формуле (5) добавляется сопротивление от резания корней, причем в соответствии с конструкцией ножа резание может осуществляться только без сдвига корня относительно лезвия.

При контакте лезвия ножа с перерезаемым корнем вначале происходит смещение корня в почве на некоторую величину ΔX (рис. 2), зависящую от свойств корня в почве, типа почвы и радиуса кривизны лезвия – r. Этому смещению подвергается участок корня на некоторой его длине, которую назовем «длиной воздействия» – $l_{возд}$. Эта длина прямо пропорциональна радиусу кривизны лезвия, пределу прочности корня при резании – $[\sigma_р]$ и обратно пропорциональна коэффициенту удельного сопротивления почвы $k_п$.

Условие начала резания корня имеет вид

$$F_р > F_с = [\sigma_р] S_к , \quad (6)$$

где $F_р$ – сила резания;

$F_с$ – сила сопротивления резанию;

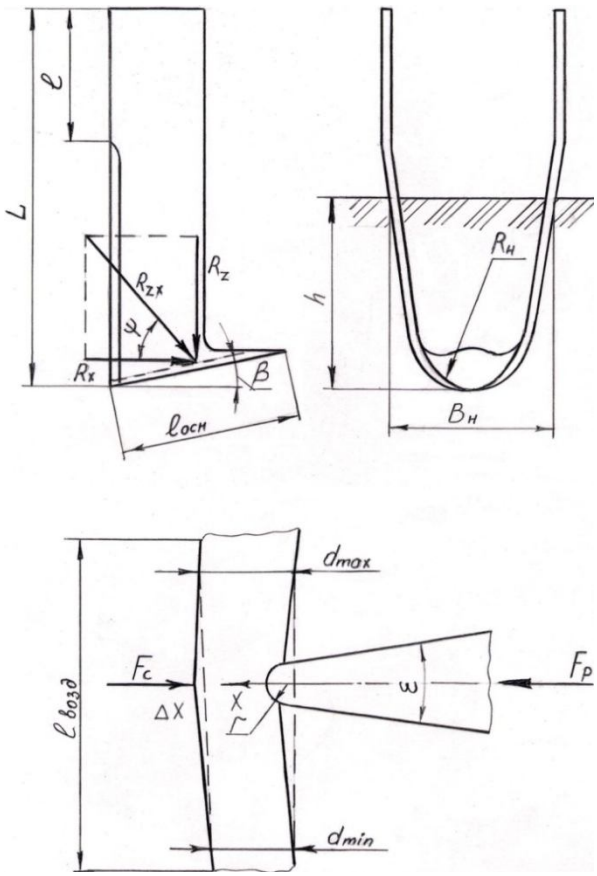

Рис. 2. Схема выкопочного ножа и действующих на него сил

$[\sigma_р]$ – предел прочности корня по нормальным напряжениям при резании;

$S_к$ – площадь контакта острия лезвия ножа с корнем.

Поскольку обычно $r << d_к$, то можно записать

$$S_к = \pi r d_к. \quad (7)$$

При этом сила резания обеспечивается за счет подпора почвы, следовательно

$$F_р = k_п l_{возд} (d_{max} + d_{min})/2, \quad (8)$$

где d_{max} и d_{min} – соответственно наибольший и наименьший диаметры корня.

Значит условие (6) можно записать в виде

$$0{,}5\, k_п l_{возд} (d_{max} + d_{min}) > \pi r d_к [\sigma_р]$$

Отсюда получим выражение для расчета «длины воздействия» (при равенстве

сил резания и сопротивления)

$$L_{возд} = 2\,\pi\, r\, d_к\, [\sigma_р]/k\, (d_{max} + d_{min}), \quad (9)$$

где $d_к$ – диаметр корня непосредственно в месте резания

Выражение (9) подтверждает все ранее сделанные выводы о влиянии различных факторов на начальный этап процесса прямого резания корня. Если допустить, что резание осуществляется посередине "длины воздействия", а размеры поперечного сечения корня на данном участке изменяются по линейному закону, то мы имеем право в формуле (9) заменить $d_к$ следующим выражением: $d_к = 0{,}5\,(d_{max} + d_{min})$ и привести ее к виду

$$l_{возд} = r\,[\sigma_р]/k_п. \quad (10)$$

Поскольку диаметр корня имеет непосредственное влияние как на силу сопротивления резанию, так и на силу «подпора» со стороны почвы, то в рамках указанных допущений диаметр корня практически не влияет на длину воздействия.

Обще сопротивление выкопочного ножа можно определить так

$$R_{XH} = R_X + n\, R_{ср}\,, \quad (11)$$

где n – число одновременно перерезаемых корней;

$R_{ср}$ – сопротивление резания одного корня.

С учетом выражений (5)-(7), можем записать

$$R_{XH} = k_H[2s(h - l_{осн}\sin\beta) + 0{,}5\,\pi\, R^2_H\,] + \\ + n\,[\sigma_р]\,\pi\, r\, d_{к}. \quad (12)$$

Анализ полученного выражения показывает, что сопротивление линейно увеличивается при увеличении глубины обработки, а также при увеличении количества и диаметров перерезаемых корней и повышении их механической прочности.

Кроме функции подрезания корней нож при проходе на длине $l_{осн}\cos\beta$ поднимает слой почвы с находящимися в нем растениями, попадающий между его боковыми стойками, на величину $l_{осн}\sin\beta$, за счет чего собственно и осуществляется процесс выкопки растений.

Вертикальная составляющая $R_Z = R_X\,\mathrm{tg}\,\psi$ общего тягового сопротивления при этом направлена вниз и способствует заглублению ножа в почву. Величину угла ψ для данного рабочего органа можно определить экспериментально.

В результате проведенного анализа процесса резания корней сеянцев получены зависимости сил, действующих на рабочий орган с учетом его геометрических параметров и особенностей выполняемого технологического процесса, которые могут использоваться при разработке корнеподрезчиков и выкопочных машин.

Библиографический список

1. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные машины [Текст] / Н. И. Кленин, И. Ф. Попов, В. А. Сакун. – М. : Колос, 1970. – 456 с.

2. Турбин, Б. Г. Сельскохозяйственные машины [Текст] / Б. Г. Турбин, А. Б. Лурье, С. М. Григорьев. – М. : Машиностроение, 1967. – 583 с.