

УДК 630*332.2.001.57

UDC 630*332.2.001.57

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ВИБРАЦИОННЫМ ПРОЦЕССОМ ПОДРЕЗАНИЯ КОРНЕЙ САЖЕНЦЕВ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР**MATHEMATICAL MODEL OF VIBRATION CONTROL PROCESS OF UNDERCUTTING ROOTS OF SEEDLINGS OF FOREST CROPS**Платонова Марина Алексеевна
аспирантPlatonova Marina Alekseevna
postgraduate studentДрапалюк Михаил Валентинович
д.т.н., профессор
*Воронежская государственная
лесотехническая академия, Воронеж, Россия*Drapaluk Mikhail Valentinovich
Dr.Sci.Tech., professor
*Voronezh State Academy of Forestry and Technolo-
gies, Voronezh, Russia*

В статье представлена математическая модель взаимодействия рабочего органа корнеподрезчика с почвой и корнями растений для оптимизации конструктивных параметров корнеподрезчика

The article presents a mathematical model of the interaction of vibration control the working body of the roots carver with soil and plant roots to optimize the design parameters roots carver

Ключевые слова: ПОДРЕЗКА КОРНЕЙ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, КОРНЕПОДРЕЗЧИК

Keywords: PRUNING THE ROOTS, MATHEMATICAL MODEL, CARVER ROOTS

Введение. В связи с увеличением объёмов работ по посадке леса большое значение приобретает вопрос выращивания посадочного материала. При этом приживаемость и рост лесных культур в первые годы жизни во многом зависят от качества посадочного материала. Эффективным способом подготовки саженцев к пересадке, способствующим формированию хорошо сохраняющейся при выкопке мочковатой корневой системы, является подрезка корней растений в период их выращивания в питомнике устройством для подрезания корней. Особое внимание при подрезке корневой системы необходимо уделять качеству среза корней. Срез корня должен быть гладким, не допускается размочаливание корня, которое приводит к ухудшению качества посадочного материала или его гибели. Кроме того, не допускается смещение верхней части корня относительно среза, так как это приводит к обрыву боковых корней [2, 6].

Существующие конструкции корнеподрезчиков в неполной мере удовлетворяют вышеперечисленным агротехническим требованиям. Таким образом остается актуальной задача повышения эффективности работы корнеподрезчиков, успешное решение которой поможет повысить каче-

ство механизированных работ в лесных питомниках и снизить затраты на выращивание посадочного материала.

Состояние исследований. Анализ исследований, посвящённых техническим устройствам для подрезания корней [9, 10, 11], выявил, что наиболее перспективными являются корнеподрезчики с активными рабочими органами. При этом, у существующих устройств для подрезания корней с активными рабочими органами был выявлен ряд недостатков.

Исходя из этого, одной из задач исследования, необходимого для повышения качества и эффективности процесса подрезки корней саженцев, являлась разработка математической модели взаимодействия вибрирующих рабочих органов машины с почвой и корнями, позволяющей обосновать основные оптимальные геометрические параметры активного рабочего органа корнеподрезчика.

Постановка и решение задачи. При математическом моделировании устройство для подрезания корней с активными рабочими органами рассматривалось как сложная многозвенная система, обладающая большим количеством параметров и погруженная при этом в среду с целой совокупностью параметров, не являющихся частью разрабатываемой системы. При этом окружающая корнеподрезчик среда и сам корнеподрезчик, в зависимости от комбинации своих внутренних параметров, взаимодействуют друг с другом, оказывая влияние на качественные показатели процесса подрезки корней.

Предварительно проведённый анализ теоретических исследований, посвящённых математическому моделированию исследуемого технологического процесса [1, 3, 4, 7], выявил, что существующие математические модели не в полной мере учитывают всю совокупность факторов, оказывающих влияние на процесс подрезки корней.

Для решения задачи моделирования корнеподрезчика как механической системы был проведен анализ рабочего процесса подрезания корней с

учётом факторов, оказывающих влияние на технологический процесс подрезки корней. Результаты анализа представлены в виде блок-схемы на рисунке 1.

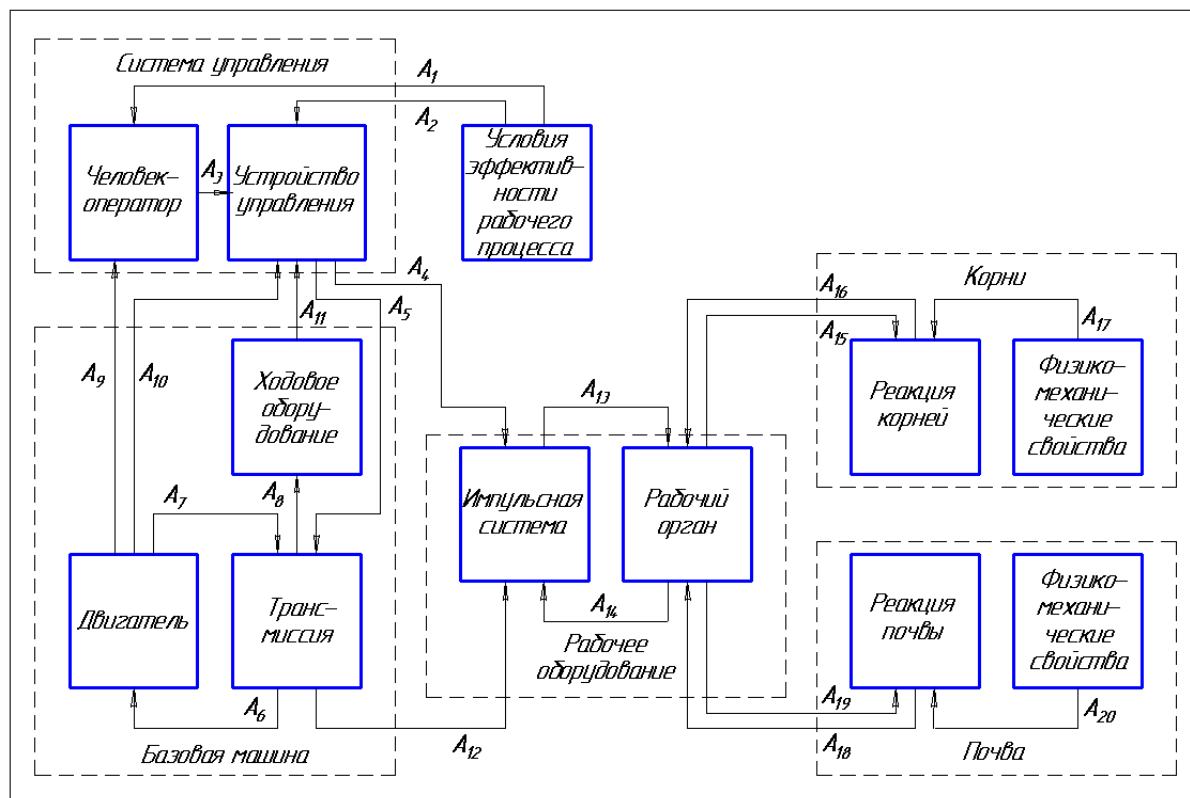


Рисунок 1. Блок-схема динамической системы рабочего процесса корнеподрезчика

Корнеподрезчик является сложной динамической системой, состоящей из взаимодействующих между собой подсистем: базовой машины, системы управления, рабочего оборудования, почвы и перерезаемых корней.

Базовая машина представлена подсистемами: двигатель, трансмиссия и ходовое оборудование. Система управления представлена подсистемами: человек-оператор и устройство управления. Рабочее оборудование представлено подсистемами: импульсная система и рабочий орган. Корни представлены подсистемами: реакция корней на рабочий орган и физико-

механические свойства корней. Почва представлена подсистемами: реакция грунта на рабочий орган и физико-механические свойства почвы.

На основе анализа рабочего процесса подрезки корней была составлена математическая модель данного процесса.

Моделирование рабочего органа. Исходя из требований минимизации сопротивления почвы и разрушения пласта при движении рабочего органа корнеподрезчика, а также с учётом агротехнических требований определялись оптимальные значения конструктивных параметров устройства для подрезки корней, одним из главных составляющих которого является нож.

Главными критериями динамического процесса перерезания корней ножом должны являться качество перерезания корней и минимальные смещения их частей относительно среза. Данные критерии зависят от трех групп факторов: геометрических, кинематических и физико-механических.

В геометрическую группу входят следующие факторы (рисунок 2): радиус затупления δ лезвия ножа, угол заострения β клиновой режущей части ножа, ширина b и толщина S полотна ножа, высота ножа h , угол наклона лезвия ψ , длина режущей кромки ножа l_1 , общая длина кромки ножа l_2 , площадь контакта полотна ножа с разрезаемыми корнями и почвой $F_{Пл}$. В кинематическую группу факторов входят амплитуда движения, а также скорость и ускорение ножа.

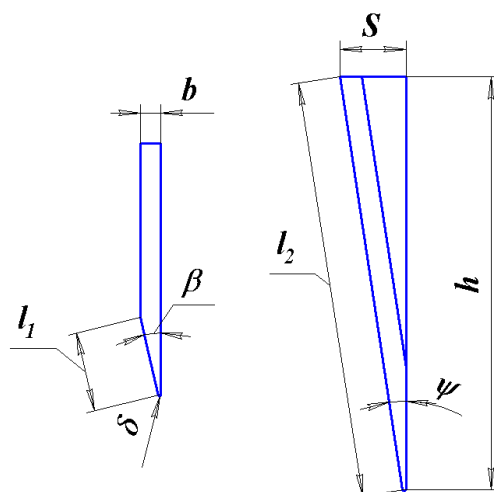


Рисунок 2. Геометрические параметры ножей

К физико-механическим факторам относятся: параметры материала ножа (состав, прочность, твёрдость, износостойкость, антиадгезивные свойства) и ряд других параметров (например, коэффициенты трения стали о корень и о почву).

Оптимальные значения вышеуказанных параметров выбирались с учётом ещё одного фактора, влияющего на объект исследований: а именно технологических особенностей подрезки корней.

Моделирование взаимодействия рабочего органа с корнями. Для расчёта сил, действующих со стороны подрезаемого корня на лезвие ножа, предположим, что удельное давление древесины на лезвие ножа распределено равномерно по поверхности abc сечения лезвия (рисунок 3).

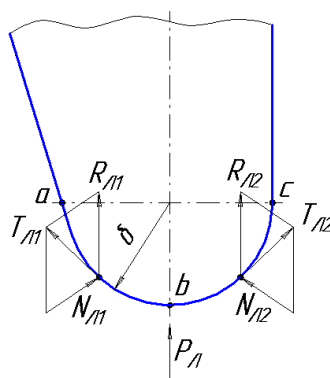


Рисунок 3. Силы, действующие со стороны древесины на лезвие ножа

Коэффициент трения f_l между древесиной и лезвием ножа постоянен по всему контуру abc . Силы трения $T_{Л1}$ и $T_{Л2}$ возникают под действием нормальных сил $N_{Л1}$ и $N_{Л2}$ давления древесины на лезвие. Силы $R_{Л1}$ и $R_{Л2}$ соответственно являются равнодействующими сил $N_{Л1}$ и $T_{Л1}$, а также $N_{Л2}$ и $T_{Л2}$. Ввиду небольшого размера радиуса затупления δ лезвие будет нагружено симметрично, а силы $N_{Л1}$ и $N_{Л2}$ будут равны. Тогда $T_{Л1}$ и $T_{Л2}$, а, следовательно, $R_{Л1}$ и $R_{Л2}$ будут также равны. Исходя из этого, общая равнодействующая, равная силе резания P_L , будет равна:

$$P_L = R_{Л1} + R_{Л2}, \text{ Н} \quad (2)$$

Величина нормальной силы $N_{Л1}$ определится из уравнения:

$$N_{Л1} = \frac{[S_B] \cdot \pi \cdot \delta \cdot B}{4}, \text{ Н} \quad (3)$$

где $[S_B]$ – предел прочности материала корня при сжатии поперёк волокон в замкнутом пространстве при динамическом нагружении, МПа; B – ширина реза, максимальная величина которого при движении ножа поперёк круглого сечения корня равна диаметру перерезаемого корня, мм.

Касательную силу трения $T_{Л1}$ можно найти по формуле:

$$T_{Л1} = f_l \cdot N_{Л1} \quad (4)$$

где f_l – коэффициент трения между древесиной и лезвием ножа.

Равнодействующие $R_{Л1}$ и $R_{Л2}$ определяются по формуле:

$$R_1 = R_2 = \frac{1}{4} \cdot [S_B] \cdot \pi \cdot \delta \cdot B \cdot \sqrt{1 + f_l^2}, \text{ Н} \quad (5)$$

Тогда общая сила надрезания P_L волокон древесины лезвием ножа:

$$P_L = \frac{1}{2} \cdot [S_B] \cdot \pi \cdot \delta \cdot B \cdot \sqrt{1 + f_l^2}, \text{ Н} \quad (6)$$

Для расчёта сил, действующих со стороны древесины на гранях клиновой режущей части и боковой поверхности ножа, использовалась схема сил, показанная на рисунке 4:

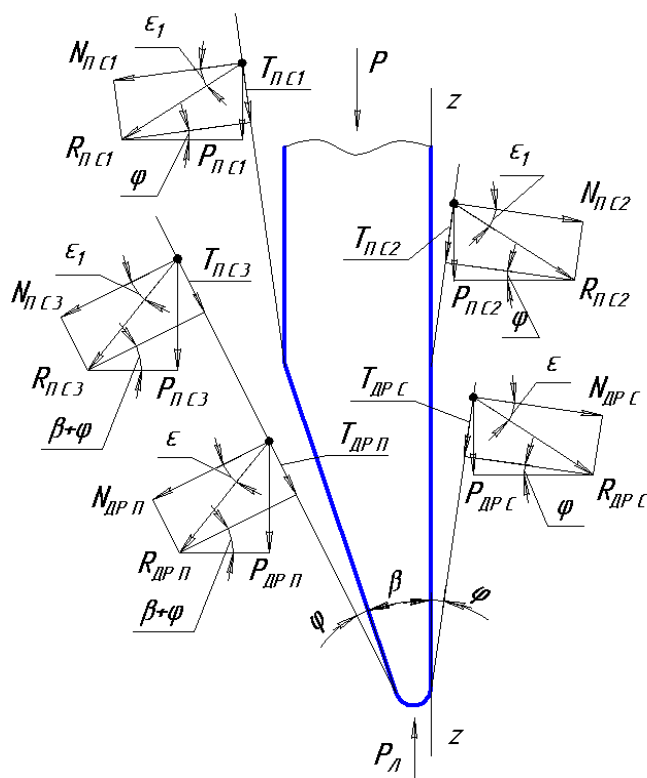


Рисунок 4. Силы, действующие на гранях ножа

На схеме показан условный клин, воздействующий на перерезаемый корень, при этом угол заострения клиновой режущей части ножа β увеличен с каждой стороны на угол трения $j = 26^{\circ}30'$ почвы о рабочую поверхность металлического черенкового ножа.

В результате давления перерезанных и смятых волокон корня о грани клина возникают нормальные силы $N_{ДРП}$ и $N_{ДРС}$, а при дальнейшем движении ножа появляются силы трения $T_{ДРП}$ и $T_{ДРС}$.

Равнодействующая $R_{ДРП}$ определится по формуле:

$$R_{ДРП} = \sqrt{(N_{ДРП})^2 + (T_{ДРП})^2}, \text{ Н} \quad (7)$$

Величина нормальной силы $N_{ДРП}$ определится как:

$$N_{ДРП} = F_{Д} \cdot [\sigma_{см}], \text{ Н}, \quad (8)$$

где $F_{Д}$ – площадь контакта грани с перерезаемым корнем, мм^2 .

Возникающая сила трения $T_{ДР\ II}$ будет равна:

$$T_{ДР\ II} = f_{л1} \cdot N_{ДР\ II}, \text{ Н}, \quad (9)$$

где $f_{л1}$ – коэффициент трения грани ножа о деформируемый корень.

Тогда равнодействующая $R_{ДР\ II}$ и сила $P_{ДР\ II}$ определяются как:

$$R_{ДР\ II} = \sqrt{(F_{Д} \cdot [\sigma_{см}])^2 + (f_{л1} \cdot F_{Д} \cdot [\sigma_{см}])^2} = F_{Д} \cdot [\sigma_{см}] \cdot \sqrt{1 + f_{л1}^2}, \text{ Н} \quad (10)$$

$$P_{ДР\ II} = R_{ДР\ II} \cdot \sin(b + j + e), \text{ Н}, \quad (11)$$

Аналогично:

$$P_{ДР\ С} = R_{ДР\ С} \cdot \sin(j + e), \text{ Н} \quad (12)$$

Общая сила $P_{ДР\ ПС}$, действующая со стороны граней ножа:

$$P_{ДР\ ПС} = P_{ДР\ II} + P_{ДР\ С}, \text{ Н} \quad (13)$$

В общем случае сила, необходимая для перерезания корня:

$$P_{ПР\ к} = P_{Л} + P_{ДР\ ПС}, \text{ Н} \quad (14)$$

где $P_{Л}$ – сила резания волокон древесины лезвием ножа, Н; $P_{ДР\ ПС}$ – сила, действующая на перерезанные и смятые волокна корня, Н.

При определении суммарных сил сопротивления перерезания корня режущим инструментом необходимо учесть, что для перерезания корня необходимо выполнение неравенства $P_{ПР} \geq P_{сопр}$.

При определении силы сопротивления корня изгибу $P_{изг\ к}$ перерезаемый корень рассматривался как стержень с защемлённым концом, а деформация изгиба стержня при этом предполагалась малой. Приняв за x координату точки приложения нагрузки, а за y величину прогиба получаем:

$$E \cdot J \cdot \frac{d^2 y}{d^2 x} = M(x) \quad (15)$$

где E – модуль упругости материала древесины, МПа; J – момент инерции тела, мм⁴; $M(x)$ – изгибающий момент, Н·мм.

Преобразовав данное дифференциальное уравнение, получим выражение для критической силы:

$$P_K = P_{изг\ к} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{l_K^2}, \text{ Н} \quad (16)$$

где l_K – длина отрезаемого корня, мм.

С учётом того, что корень рассматривается как стержень, момент инерции корня относительно оси, проходящей через его конец, равен:

$$J = \frac{1}{3} \cdot m \cdot l_K^2, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (17)$$

где m – масса отрезанного корня, кг.

При динамическом действии возмущающей силы $P_{ПП}$ возникает сила инерции $P_{ин\ к}$, зависящая от ускорения a_X перерезаемого слоя корня в направлении оси OX , на которое влияет координата центра масс перерезаемого слоя $x_{сл}$ и время перерезания корня t :

$$a_X = \frac{d^2 x_{сл}}{dt^2} \quad (18)$$

Тогда сила инерции $P_{ин\ к}$ определится [5] по формуле:

$$P_{ин\ к} = \frac{M_{ин}}{l_K \cdot \sin \alpha}, \text{ Н} \quad (19)$$

Момент сил инерции при этом находится по выражению:

$$M_{ин} = J_{\epsilon} \cdot \frac{d^2 \alpha}{dt^2} \quad (20)$$

Момент инерции отрезаемой части корня J_{ϵ} равен:

$$J_{\epsilon} = M_{прив} \cdot l^2, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (21)$$

При этом приведённая масса $M_{прив}$ определялась как:

$$M_{прив} = \frac{\pi \cdot \rho \cdot l_K}{5} \cdot r_0^2, \text{ кг} \quad (22)$$

где ρ – плотность тела корня, кг/м³; r_o – радиус поперечного сечения корня в плоскости резания, м.

Моделирование взаимодействия рабочего органа с почвой. Для расчёта сил, действующих со стороны частиц почвы на гранях клиновой режущей части и боковой поверхности ножа, воспользуемся схемой сил, показанной на рисунке 4.

Если допустить, что нормальная сила от давления смятых частиц почвы $N_{П C1}$ на полотне ножа распределена по его боковой поверхности равномерно, то тогда силу трения $T_{П C1}$, действующую между почвой и полотном ножа, можно найти по формуле:

$$T_{П C1} = f_{лн} \cdot N_{П C1}, \text{ Н} \quad (23)$$

где $f_{лн}$ – коэффициент трения между полотном ножа и почвой.

Нормальная сила от давления частиц почвы определялась по формуле:

$$N_{П C1} = q_N \cdot F_{Пл1}, \text{ Н} \quad (24)$$

где q_N – нормальное удельное давление, создаваемое частицами почвы при импульсном резании, МПа;

Площадь контакта левой боковой поверхности полотна ножа:

$$F_{Пл1} = (H - l_l \cdot \cos\beta) \cdot S, \text{ м}^2 \quad (25)$$

где H – максимальная глубина резания ножа, м.

Тогда равнодействующая $R_{П C1}$ и сила $P_{П C1}$ будут равны:

$$R_{П C1} = q_N \cdot (H - l_l \cdot \cos\beta) \cdot S \cdot \sqrt{1 + f_{лн}^2}, \text{ Н} \quad (26)$$

$$P_{П C1} = R_{П C1} \cdot \sin(j + e_1), \text{ Н}, \quad (27)$$

Аналогично силы $P_{П C2}$ и $P_{П C3}$:

$$R_{П C2} = q_N \cdot H \cdot S \cdot \sqrt{1 + f_{лн}^2}, \text{ Н} \quad (28)$$

$$P_{П C2} = R_{П C2} \cdot \sin(j + e_1), \text{ Н} \quad (29)$$

$$R_{П С 3} = q_N \cdot \frac{l_1 \cdot \cos \beta \cdot S}{2} \cdot \sqrt{1 + f_{пл}^2}, \text{ Н} \quad (30)$$

$$P_{П С 3} = R_{П С 3} \cdot \sin(b + j + e_1), \text{ Н} \quad (31)$$

Итого, общая сила $P_{П С}$:

$$P_{П С} = P_{П С 1} + P_{П С 2} + P_{П С 3}, \text{ Н} \quad (32)$$

Приравняем силу, необходимую для перерезания почвы режущим инструментом $P_{П Р n} = P_{П С}$. Тогда общая сила $P_{П Р}$:

$$P_{П Р} = P_{П Р к} + P_{П Р n}, \text{ Н} \quad (33)$$

При нахождении суммарных сил сопротивления перерезания почвы режущим инструментом сила сопротивления от прилипания почвы:

$$P_{n p n} = r_0 \cdot F_{П л} + p \cdot N \cdot F_{П л} = F_{П л} \cdot (r_0 + p \cdot N), \text{ Н} \quad (34)$$

где ρ_0 – коэффициент касательных сил удельного прилипания при отсутствии нормального давления, Н/мм²; p – коэффициент касательных сил удельного прилипания, вызываемого нормальным давлением, Н/мм².

Величина силы сопротивления почвы смятию корнем растения $P_{с м n к}$ определялась по формуле:

$$P_{с м n к} = q_{с м n} \cdot V_k \cdot k, \text{ Н} \quad (35)$$

где $q_{с м n}$ – коэффициент объёмного смятия почвы, Н/мм³; V_k – объём одного перерезаемого корня, мм³; k – количество перерезаемых корней.

Таким образом, суммарные силы сопротивления перерезания корня и почвы режущим инструментом $P_{с о n p}$ определялись по зависимости:

$$P_{с о n p} = P_{и з г к} + P_{и н к} + P_{с м n к} + P_{n p n}, \text{ Н} \quad (36)$$

Моделирование взаимодействия рабочего органа и импульсной системы. Для предотвращения накапливания неперерезанных корней на лезвии подрезающего рабочего органа, последним нужно придать поперечные или продольные колебания с определенной частотой и амплитудой.

На рисунке 5 рассмотрена траектория движения вертикального ножа орудия, осуществляющего колебания при поступательном движении агрегата.

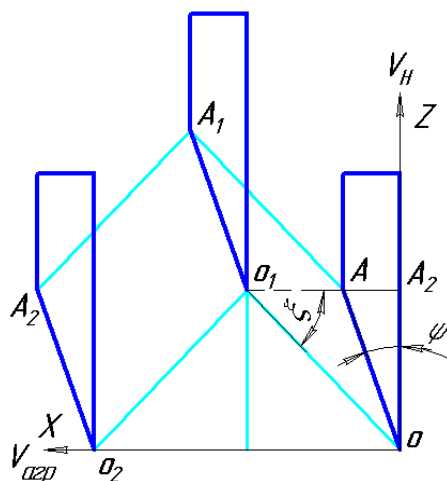


Рисунок 5. Траектория движения вертикального ножа

Пусть OA – элементарный участок режущей кромки ножа. При движении агрегата и одновременной вибрации ножа участок OA в течение половины периода колебаний $0,5 \cdot \tau_n$ в результате сложения скоростей V_H колебаний ножа и поступательной скорости агрегата V_{agr} переместится в положение O_1A_1 , а в течение второй половины полупериода – в положение O_2A_2 . Каждая точка элементарного участка OA в процессе движения будет перемещаться под углом ξ к направлению движения агрегата (оси OX), описывая в течение периода колебаний некую траекторию. Путём несложных преобразований получим:

$$\operatorname{tg} \xi = \frac{S_n}{S_{agr}} = \frac{V_H}{V_{agr}} = \frac{2 \cdot n_n \cdot S_{am}}{V_{agr}} \quad (37)$$

где n_n – частота колебаний; S_{am} – амплитуда колебания лезвия ножа, м; V_{agr} – поступательная скорость агрегата, м/с.

При $\xi < 45^\circ$ резание корней и почвы осуществляется за счёт установленных параметров колебательного движения подрезающего ножа, а реза-

ние корней происходит со скольжением. Так как $\text{tg } 45^{\circ} = 1$, то условие резания со скольжением для ножа можно записать в следующем виде:

$$V_{agr} < V_n = 2 \cdot n_n \cdot S_{am} \quad (38)$$

Вертикальные колебания ножам в экспериментальной модели корне-подрезчика придаёт эксцентрик, установленный на валу двигателя. Если принять, что эксцентрик с минимальным радиусом r вращается по часовой стрелке с угловой скоростью ω , а угол его поворота $\omega(t)$ отсчитывается от горизонтальной оси, то относительное вертикальное перемещение любой точки А (рисунок 5) вертикально подрезающего ножа равно:

$$X = r - r \cdot \cos \omega t = r \cdot (1 - \cos \omega t), \text{ мм} \quad (39)$$

Относительная скорость колебаний подрезающего ножа определится как первая производная от перемещения X :

$$V_n = \frac{dX}{dt} = r \cdot \omega \cdot \sin \omega t, \text{ м/с} \quad (40)$$

Относительное ускорение ножа определится как первая производная от скорости колебаний ножа:

$$a_n = \frac{dV_n}{dt} = r \cdot \omega^2 \cdot \cos \omega t, \text{ м/с}^2 \quad (41)$$

С учётом того, что наибольшие ускорения подрезающего органа будут наблюдаться при максимальной амплитуде колебания лезвия ножа S_{am} , значение силы инерции $P_{инн}$ ножа:

$$P_{инн} = m \cdot a = m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos \omega t, \text{ Н} \quad (42)$$

С учётом вышесказанного, суммарное тяговое сопротивление, возникающее при подрезке корней активным рабочим органом, будет равно:

$$P_T = P_{ПР} + P_{сопр} + P_{инн} + P_{пр \partial \phi}, \text{ Н}, \quad (43)$$

где $P_{пр \partial \phi}$ – сила предварительной и рабочей деформации пружин, используемых для силового замыкания эксцентрика и вертикально подрезающих ножей.

Тогда мощность, необходимая для подрезки боковых корней при заданной технологической скорости $V_T = V_{agr}$, определится как:

$$N_T = \frac{P_T \cdot V_T}{3600}, \text{ кВт} \quad (44)$$

Заключение. Предложенная математическая модель позволит получить оптимальные геометрические, эксплуатационно-технологические и энергетические параметры вибрационной подрезки корней растений. Для изучаемого рабочего органа корнеподрезчика получены следующие необходимые для исследовательской модели выражения: сила перерезания режущим инструментом корня и почвы; сила сопротивления перерезанию корня и почвы; суммарное тяговое сопротивление, возникающее при подрезке корней.

Модель учитывает распределение величин удельного сопротивления резанию вдоль кромки лезвия со стороны частиц почвы, а также величину инерции срезаемого корня.

Таким образом, предложенная математическая модель взаимодействия вибрирующих рабочих органов машины с почвой и корнями позволит повысить качество механизированных работ в лесных питомниках и снизить затраты на выращивание посадочного материала.

Литература

1. Главацкий С.Г. Теоретическое обоснование работы ножей для подрезки боковых и стержневых корней сеянцев / С.Г. Главацкий // Охрана лесов от пожаров, лесовосстановление и лесопользование. - Красноярск, ИПЦ КГТУ, 2003. - С. 32-35.

2. Драпалюк М.В. Влияние подрезки корневой системы на морфологические характеристики сеянцев сосны обыкновенной (*PINUS SYLVESTRIS*) / М.В. Драпалюк, В.Ю. Заплетин // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. - 2006. - № 3. - С. 115-117

3. Драпалюк М.В. Математическая модель процесса подрезки корней сеянцев и саженцев в питомниках / М.В. Драпалюк, П.И. Попиков, М.В. Кондратов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2006. - № 3. - С. 111-114.

4. Драпалюк М.В. Математическая модель функционирования виброударной машины для удаления пней / М.В. Драпалюк, С.Н. Батищев, В.В. Посметьев // Вестник

Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2010.– № 6.– С. 115-118.

5. Драпалюк М.В. Обоснование основных параметров рабочих органов машины для подрезки корней сеянцев дуба в питомниках лесостепи: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Драпалюк М.В.; Воронежская государственная лесотехническая академия.– Воронеж: 2000.–20 с.

6. Драпалюк М.В. Совершенствование технологических операций и рабочих органов машин для выращивания посадочного материала и лесовосстановления: дисс. ... докт. техн. наук / Драпалюк Михаил Валентинович; Воронежская государственная лесотехническая академия.–Воронеж: 2006.–460 с.

7. Дручинин Д.Ю. Математическая модель взаимодействия рабочего органа выкопной машины с почвой и корнями растений / Д.Ю. Дручинин, О.Р. Дорняк, М.В. Драпалюк // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. - Краснодар: КубГАУ, 2011.-№ 68.- С. 51-67. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/04/pdf/13.pdf>

8. Захаров В.В. Импульсное резание древесины / В.В. Захаров. – М.: Лесная промышленность, 1983.-160 с.

9. Импульсное устройство для подрезания корней: патент № 2101924 РФ: МПК6 А 01 G 23 / 02 / Лабзин В.А., Невзоров В.Н.; заявитель и патентообладатель Красноярская государственная технологическая академия – 94038420/13; заявл. 11.10.1994; опубл. 20.01.1998.

10. Корнеподрезчик: патент на полезную модель № 54715 РФ: МПК6 А 01 С 11 / 00 / Бартенев И.М., Драпалюк М.В., Попиков П.И., Кондратов М.В.; заявитель и патентообладатель Воронежская государственная лесотехническая академия – 2006106998/22; заявл. 06.03.2006; опубл. 27.07.2006.

11. Рабочий орган корнеподрезчика: свидетельство на полезную модель № 24614 РФ: МПК7 А 01 С 11 / 00, А 01 В 35 / 02 / Шмаков В.А., Главацкий С.Г.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства – 2002103295/20; заявл. 11.02.2002; опубл. 20.08.2002 г.