

УДК 630\*332.2.001.57

UDC 630\*332.2.001.57

**ОБОСНОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ  
ФАКТОРОВ ВИБРАЦИОННОГО ПРОЦЕССА  
ПОДРЕЗАНИЯ КОРНЕЙ СЕЯНЦЕВ ЛЕСНЫХ  
КУЛЬТУР**

**JUSTIFICATION OF DYNAMIC FACTORS OF  
VIBRATION PROCESS OF UNDERCUTTING  
ROOTS OF SEEDLINGS OF FOREST CROPS**

Платонова Марина Алексеевна  
аспирант  
*Воронежская государственная лесотехническая  
академия, Воронеж, Россия*

Platonova Marina Alekseevna  
postgraduate student  
*Voronezh State Academy of Forestry and Technolo-  
gies, Voronezh, Russia*

В статье представлено обоснование динамических факторов вибрационного процесса подрезания корней для оптимизации технологических параметров подрезания корней

The article presents a study of dynamic factors of vibration process of undercutting roots for optimization of process parameters of undercutting of roots

Ключевые слова: ПОДРЕЗКА  
КОРНЕЙ, КОРНЕПОДРЕЗЧИК, ЧАСТОТА  
КОЛЕБАНИЙ, АМПЛИТУДА

Keywords: UNDERCUTTING OF ROOTS,  
CARVER ROOTS, OSCILLATION  
FREQUENCY, AMPLITUDE

**Введение.** Одним из наиболее эффективных способов подготовки сеянцев лесных культур к пересадке, способствующих формированию хорошо сохраняющейся при выкопке мочковатой корневой системы, является вибрационная подрезка корней растений в период их выращивания в питомнике устройством для подрезания корней [1; 3; 4]. Данный процесс должен обеспечить качественное перерезание корней с ровным срезом без их смятия, разрывов и размочаливания, так как это приводит к ухудшению качества посадочного материала или его гибели. Возникающее при этом суммарное тяговое сопротивление должно быть по возможности минимальным, что может быть обеспечено обоснованием оптимальных конструктивных и технологических факторов вибрационного процесса подрезания корней [2].

Таким образом, остается актуальной задача повышения эффективности работы корнеподрезчиков, успешное решение которой поможет повысить качество механизированных работ в лесных питомниках и снизить затраты на выращивание посадочного материала.

**Состояние исследований.** В [6] рассмотрены кинематические и динамические факторы математической модели взаимодействия вибрирующих рабочих органов машины с почвой и корнями, позволяющей обосновать ос-

новные оптимальные геометрические и технологические параметры вибрационного процесса подрезания корней. При этом было установлено, что к основным динамическим факторам относятся амплитуда колебания и частота вертикальных колебаний лезвий подрезающих ножей, а также суммарное тяговое сопротивление, возникающее при подрезке корней сеянцев.

**Постановка и решение задачи.** При математическом моделировании корнеподрезчик с активными рабочими органами рассматривался как сложная многосвязная система, обладающая большим количеством параметров. При этом окружающая корнеподрезчик среда и сам корнеподрезчик, в зависимости от комбинации своих внутренних параметров, взаимодействуют друг с другом, оказывая влияние на качество подрезки корней.

Для оценки величины суммарного тягового сопротивления  $P_T$ , возникающего при подрезке корней сеянцев активными рабочими органами, были построены графические зависимости, позволяющие выявить воздействия конструктивных и технологических параметров вибрационной подрезки корней на величину  $P_T$ .

Одним из таких графиков является зависимость  $D_0 = f(j)$ , где  $j$  – угол поворота эксцентрика модели корнеподрезающей машины, сообщающий подрезающим ножам возвратно-поступательное движение (рис. 1). Данная зависимость строилась при неизменных значениях геометрических параметров подрезающих ножей, диаметров корней (2 мм) и количества (10 шт.) перерезаемых корней, физико-механических свойствах почвы и корней. Глубина подрезки корней сеянцев в расчёте принималась равной 150 мм [5].

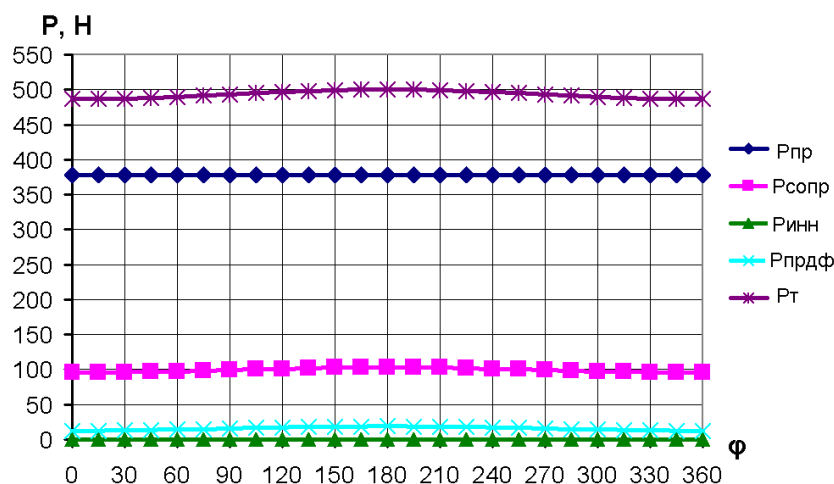


Рисунок 1 – График зависимости  $P_T = f(j)$

Анализ данного графика (см. рис. 1) показывает, что максимальное влияние на величину  $P_T$  оказывает общая сила, необходимая для перерезания режущим инструментом корня и почвы  $P_{ПР}$  (из общего значения  $P_T$  величина  $P_{ПР}$  составляет 77 %), затем следуют суммарные силы сопротивления перерезания корня и почвы режущим инструментом  $P_{сопр}$  (19 %), сила пружин при их предварительной и рабочей деформации  $P_{прдф}$  (3 %) и силы инерции ножей  $P_{инн}$  ( $\approx 0$  %). При угле поворота эксцентрика  $j = 90...270^0$  (максимум при  $j = 180^0$ ) наблюдается явное возрастание тягового сопротивления  $P_T$ , что объясняется дополнительным заглублением в этот момент подрезающих ножей в почву и, как следствие, увеличением площади контакта ножей и почвы, а следовательно, сил сопротивления  $P_{сопр}$  и сил пружин  $P_{прдф}$ .

Величина общей силы, необходимой для перерезания корней и почвы режущим инструментом  $P_{ПР}$ , оставалась неизменной, т.к. на данную силу оказывают влияние в основном геометрические параметры подрезающих ножей (радиус затупления лезвия ножа, толщина полотна ножа, длина режущей кромки ножа и т.д.) и количество ножей, а также физико-механические свойства почвы (например, коэффициенты трения древесины

– лезвие ножа, лезвие ножа – почва) и корней, которые при построении данного графика принимались неизменными (см. рис.1).

Влияние последней составляющей ( $P_{инн}$ ) оказалось незначительным из-за небольшого значения принятой в данном расчёте частоты колебаний подрезающих ножей  $n_n = 60 \text{ мин}^{-1}$  (рис. 2).

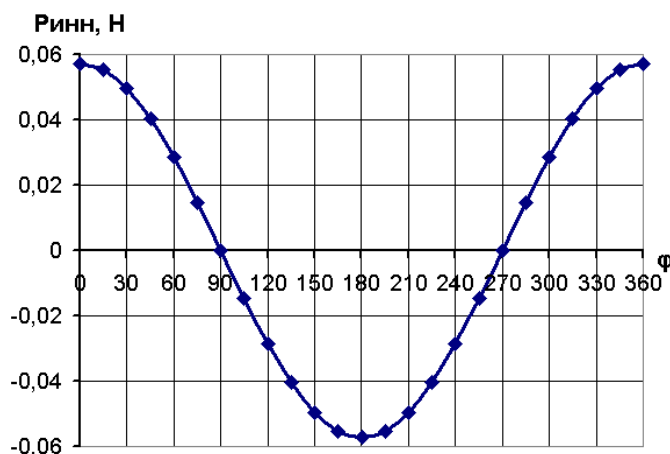


Рисунок 2 – График зависимости  $P_{инн} = f(j)$

Однако при рассмотрении графика поведения данной составляющей как функции частоты колебаний подрезающих ножей  $n_n$  выяснилось, что увеличение параметра  $n_n$  приводит к возрастанию абсолютных значений силы инерции ножей  $P_{инн}$  при крайних положениях угла поворота эксцентрика  $j$  ( $0^0, 180^0, 360^0$ ), т.е. в «мёртвых» точка положения подрезающих ножей, когда вектор направления скорости их движения меняется на противоположный (рис. 3). Особенное значение имеет зона поворота угла эксцентрика при  $j = 90^0 \dots 180^0$  и  $180^0 \dots 270^0$ , где из-за отрицательных значений ускорений ножей величины сил инерции  $P_{инн}$  также принимают отрицательные значения и способствуют уменьшению общего тягового сопротивления  $P_T$ .

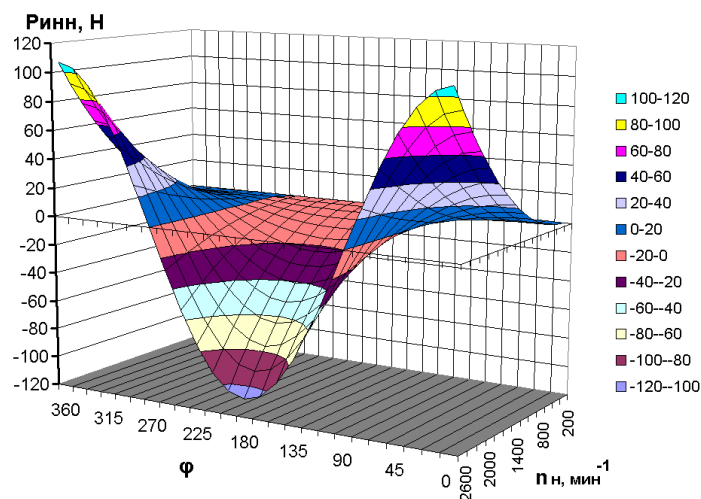


Рисунок 3 – График зависимости  $D_{ei\ i} = f(j, n)$

Уменьшение частоты колебаний подрезающих ножей  $n_n$  до нулевых значений приводит к исчезновению инерционных составляющих (сил инерции ножа  $P_{инн}$  и корней  $P_{инк}$ ) и соответствующему уменьшению тягового сопротивления  $P_T$  (рис. 4).

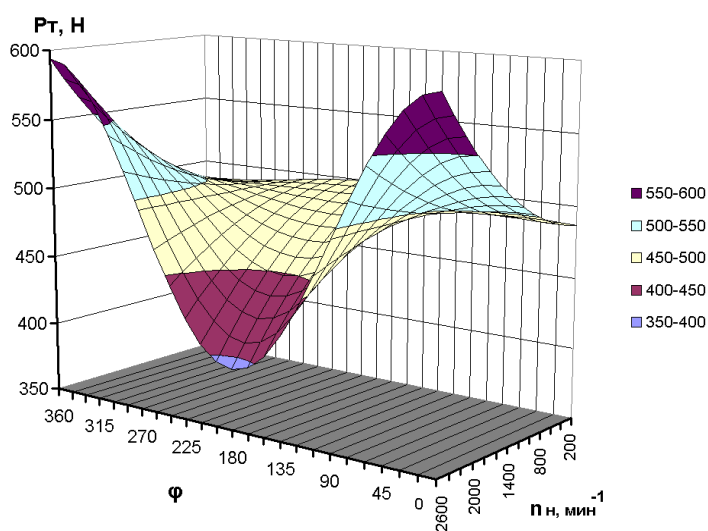
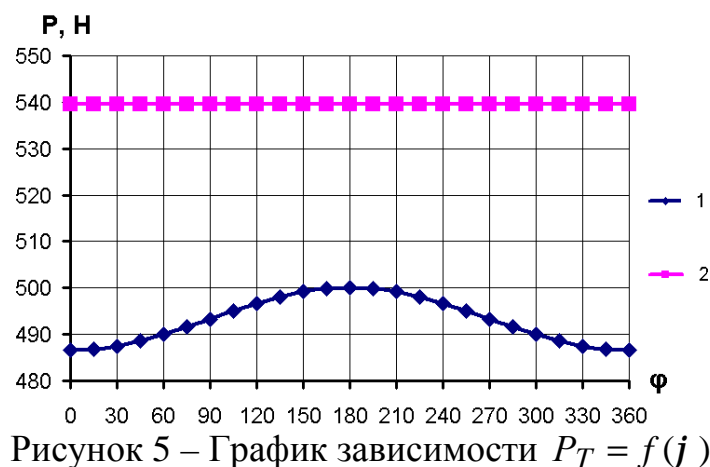


Рисунок 4 – График зависимости  $P_T = f(j, n)$

Однако при этом корнеподрезающая машина лишается преимуществ, связанных с активными рабочими органами, а суммарное тяговое сопротивление  $P_T = 540$  Н (рис. 5) с неподвижными рабочими органами (рису-

нок 5, линия 2) оказывается (при прочих равных условиях) гораздо больше значений  $P_T$ , полученных при вибрирующих подрезающих ножах (рисунок 5, линия 1).



Если увеличивать частоту колебаний подрезающих ножей  $n_H$ , то также возможна потеря преимуществ, связанных с активными рабочими органами корнеподрезчика из-за чрезмерного увеличения тягового сопротивления  $P_T$ . Так, при  $n_H \geq 2000 \text{ мин}^{-1}$  тяговое сопротивление в определённый момент времени будет равно 550...590 Н, что превышает значение тягового сопротивления  $P_T = 540 \text{ Н}$  с неподвижными рабочими органами.

С учётом вышесказанного, для дальнейшего исследования принимались частоты колебаний подрезающих ножей в диапазоне  $n_H = 100 \dots 2000 \text{ мин}^{-1}$  и угол поворота эксцентрика  $j = 180^\circ$ . Целесообразность выбора такого значения угла объясняется следующим. При фиксированной частоте вращения и углах поворота эксцентрика  $j = 0^\circ$  и  $j = 360^\circ$  величина тягового сопротивления  $P_T$  превышает величину  $P_T$  при угле  $j = 180^\circ$ . Однако с технологической точки зрения, непосредственная подрезка корней осуществляется при максимальном погружении в почву вибрирующих ножей при углах  $j \approx 180^\circ$ .

При анализе воздействия конструктивных и технологических параметров вибрационной подрезки корней на суммарные силы сопротивления перерезания корня и почвы режущим инструментом  $P_{сопр}$  было установлено, что наибольшее влияние на величину  $P_{сопр}$  оказывают силы сопротивления от прилипания почвы к поверхности ножа  $P_{прп}$  (рис. 6).

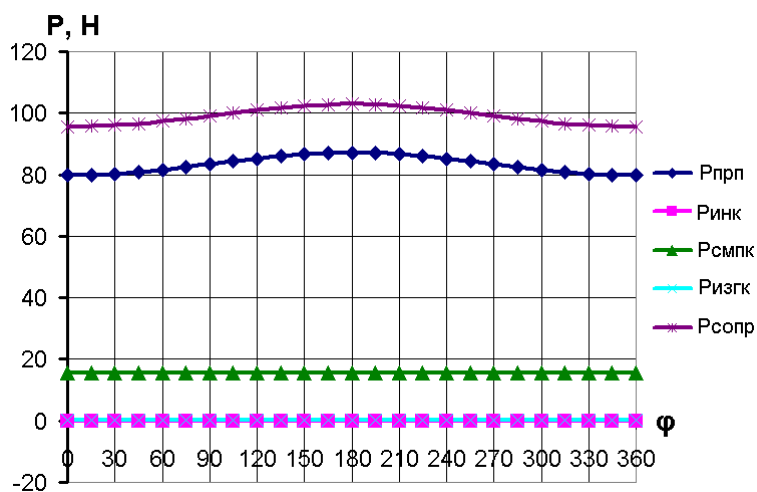


Рисунок 6 – График зависимости  $P_{сопр} = f(j)$

Влияние сил сопротивления почвы смятию корнем растения  $P_{смпк}$  оказалось не столь значительным, а сил сопротивления корня изгибу  $P_{изгк}$  и сил инерции перерезаемого корня  $P_{инк}$  (рис. 7) практически равно нулю.

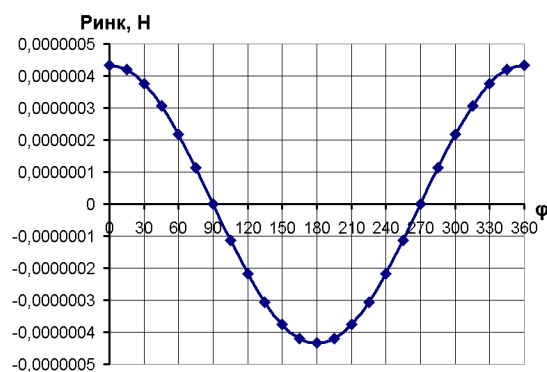
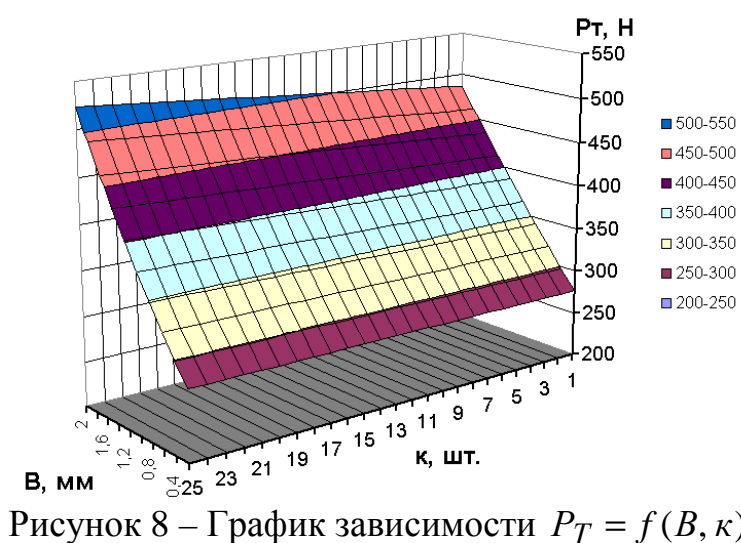


Рисунок 7 – График зависимости  $P_{инк} = f(j)$

Для оценки воздействия на суммарное тяговое сопротивление  $P_T$  геометрических параметров подрезающих ножей, а также физико-механических свойств почвы и корней были построены соответствующие графические зависимости, анализ которых позволил выявить следующее. Увеличение геометрических параметров подрезающих ножей (например, толщины и ширины полотна ножа, радиуса затупления лезвия и т.д.) приводит к прямо пропорциональному увеличению силы, необходимой для перерезания режущим инструментом корней и почвы, а следовательно, и к возрастанию тягового сопротивления  $P_T$ . Аналогичная тенденция была прослежена и при исследовании влияния физико-механических свойств почвы и корней.

К примеру, увеличение диаметра перерезаемых корней (ширины реза)  $B$  приводит к резкому линейному возрастанию тягового сопротивления  $P_T$  (рис. 8). Увеличение количества одновременно перерезаемых корней  $k$  приводит к более плавному возрастанию тягового сопротивления, особенно при малых диаметрах перерезаемых корней, где такого возрастания практически не прослеживается.





Одной из важных физико-механических характеристик почвы является её липкость, которая может быть оценена при помощи коэффициента удельного прилипания  $r_0$ . Повышение влажности почвы приводит к возрастанию данного коэффициента, что, в свою очередь, влияет на увеличение суммарного тягового сопротивления  $P_T$  (рис. 9).

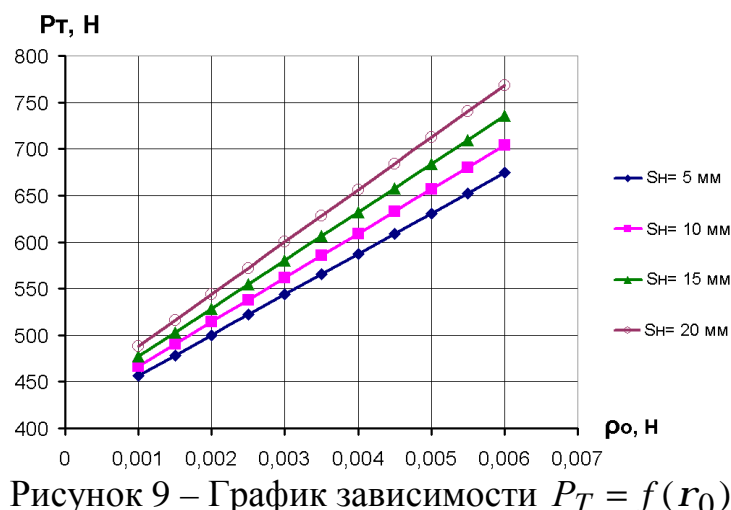


Рисунок 9 – График зависимости  $P_T = f(r_0)$

Возрастание при этом амплитуды колебаний лезвия ножа  $S_H$  (с 5 до 20 мм) приводит к более резкому линейному увеличению тягового сопротивления  $P_T$ . Таким образом, при прочих равных условиях (в том числе влажности) вибрационной подрезки корней целесообразно рекомендовать небольшие амплитуды колебаний лезвия ножа  $S_H$ .

При анализе воздействия технологических параметров вибрационной подрезки корней на суммарное тяговое сопротивление  $P_T$  можно отметить следующее. Увеличение амплитуды колебаний лезвия ножа  $S_H$  приводит к возрастанию тягового сопротивления  $P_T$ , особенно в зоне максимального погружения в почву вибрирующих ножей при углах  $j = 120...240^\circ$  (рис. 10). При углах  $j \approx 180^\circ$  и амплитуде  $S_H = 18...20$  мм значения тягового сопротивления становятся больше значений  $P_T$  для корнеподрезчиков с не-

подвижными рабочими органами, что указывает на необходимость ограничений максимальных амплитуд колебаний лезвия ножа  $S_H$ .

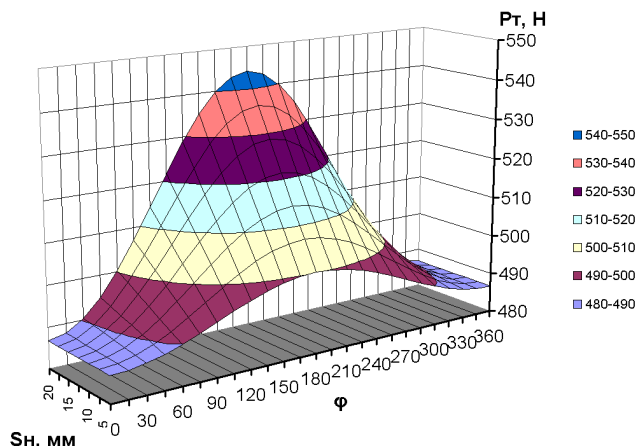


Рисунок 10 – График зависимости  $P_T = f(S_H, j)$

В соответствии с расчётами, амплитуда колебаний  $S_H$  изменяется по параболической зависимости, при этом увеличение эксцентриситета  $r$  эксцентрика модели корнеподрезающей машины, сообщающего подрезающим ножам возвратно-поступательное движение, приводит к синхронному возрастанию амплитуды колебаний  $S_H$  (рис. 11) и общей траектории движения вертикально подрезающих ножей  $S_{abc}$ , график которой построен для поступательной скорости трактора  $V_{agr} = 1,5$  км/ч (рис. 12).

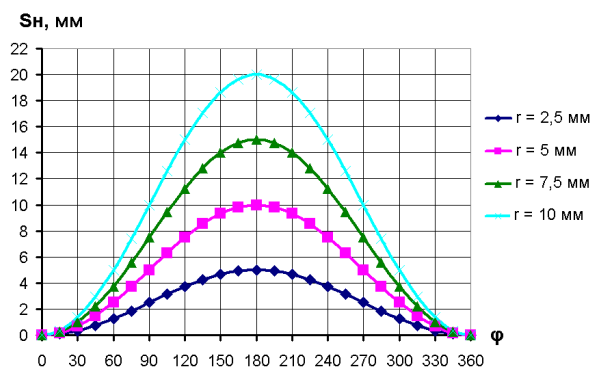


Рисунок 11 – График зависимости  $S_H = f(j)$

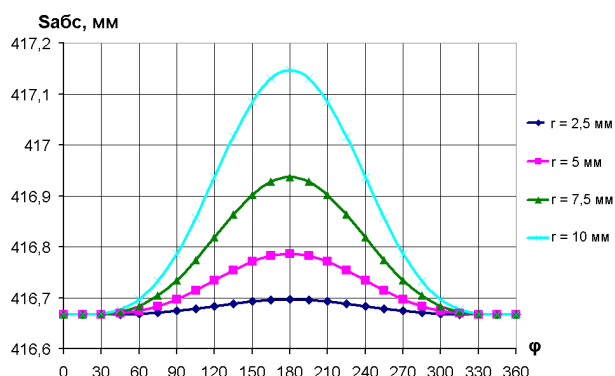


Рисунок 12 – График зависимости  $S_{abc} = f(j)$

В целом, влияние амплитуды колебаний лезвия ножа  $S_H$  на суммарное тяговое сопротивление  $P_T$  при прочих равных условиях вибрационной подрезки корней является весьма неоднозначным.

При вибрационной подрезке корней амплитуда колебаний лезвия ножа  $S_H$  непосредственным образом влияет на глубину подрезки  $H_0$ . Рассмотрение графика зависимости суммарного тягового сопротивления от частоты колебаний подрезающих ножей  $n_H$  и глубины подрезки  $H_0$  выявило, что при неизменной амплитуде  $S_H$  (5 мм) увеличение параметра  $H_0$  приводит к резкому возрастанию тягового сопротивления  $P_T$  во всём диапазоне изменения частоты колебаний подрезающих ножей  $n_H$  (рис. 13).

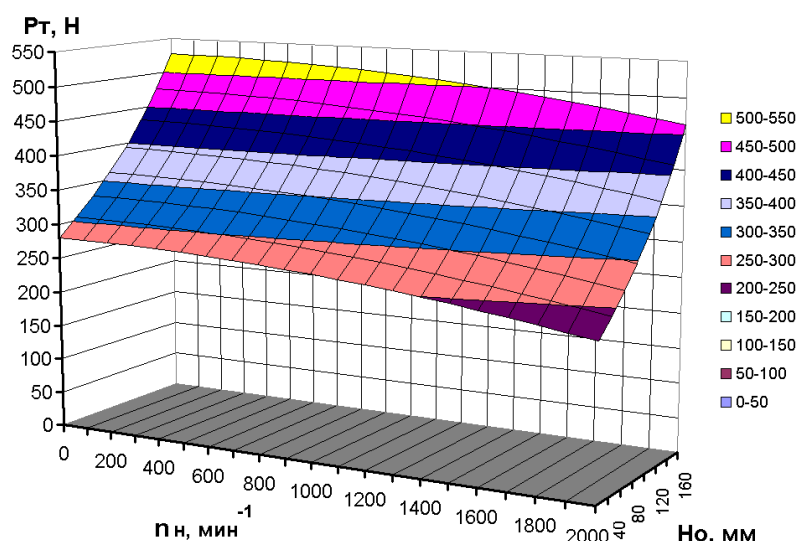


Рисунок 13 – График зависимости  $P_T = f(H_0, n_H)$

Однако при постоянной глубине подрезки в области малых частот колебаний подрезающих ножей  $n_H$  увеличение амплитуды  $S_H$  приводит к увеличению тягового сопротивления  $P_T$  (рис. 14). С возрастанием частоты колебаний ножей до  $n_H=950...1000 \text{ мин}^{-1}$  значения тягового сопротивления стабилизируются и увеличение амплитуды  $S_H$  не приводит к возрастанию  $P_T$ . При дальнейшем увеличении частоты колебаний  $n_H$  существует

тенденция к большему снижению силы тягового сопротивления (при возрастающих величинах амплитуды колебаний  $S_H$ ).

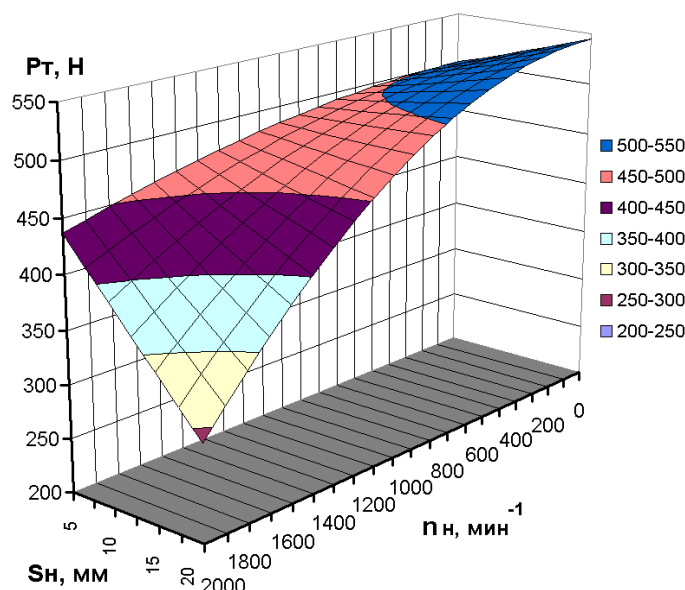


Рисунок 14 – График зависимости  $P_T = f(S_H, n_H)$

Таким образом, с учётом вышесказанного для дальнейшего исследования принимался диапазон частот колебаний подрезающих ножей  $n_H = 1000 \dots 2000 \text{ мин}^{-1}$  при амплитудах колебаний лезвия ножа  $S_H = 5 \dots 15 \text{ мм}$ .

Кроме рассмотренных параметров, на эффективность технологического процесса вибрационного подрезания корней оказывает влияние соотношение линейной скорости вертикальных колебаний подрезающих ножей  $V_H$  и поступательной скорости тракторного агрегата  $V_{agr}$ . Для обеспечения качественного подрезания саженцев со скольжением необходимо выполнение условия:  $V_H / V_{agr} > 1$ .

Как показали расчёты, линейная скорость вертикальных колебаний подрезающих ножей  $V_H$ , изменяясь по гармоническому закону, зависит от угла поворота  $j$ , а также, в немалой степени, от амплитуды колебаний лезвия ножа  $S_H$  (рис. 15).

С учётом полученной зависимости дальнейшие исследования проводились для максимально возможной при вибрационной подрезке корней скорости  $V_H$ , достигаемой при величине  $j = 90^0$ .

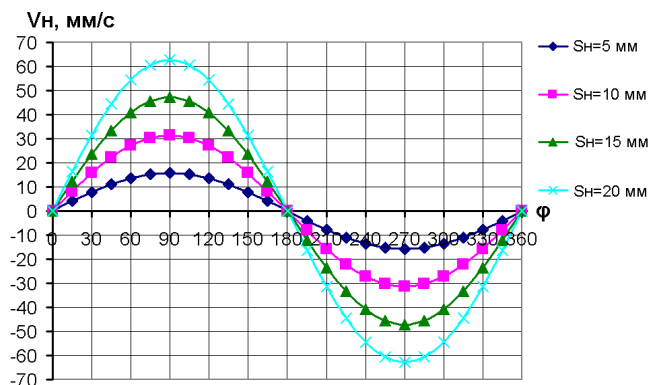


Рисунок 15 – График зависимости  $V_H = f(j)$

Для выявления зависимости линейной скорости вертикальных колебаний подрезающих ножей  $V_H$  от частоты их колебаний  $n_H$  был построен соответствующий график (рис. 16). Предварительное рассмотрение факторов, влияющих на величину  $V_H$ , выявило, что геометрические параметры подрезающих ножей и их количество, а также физико-механические свойства почвы и корней заметного воздействия на параметр  $V_H$  не оказывают.

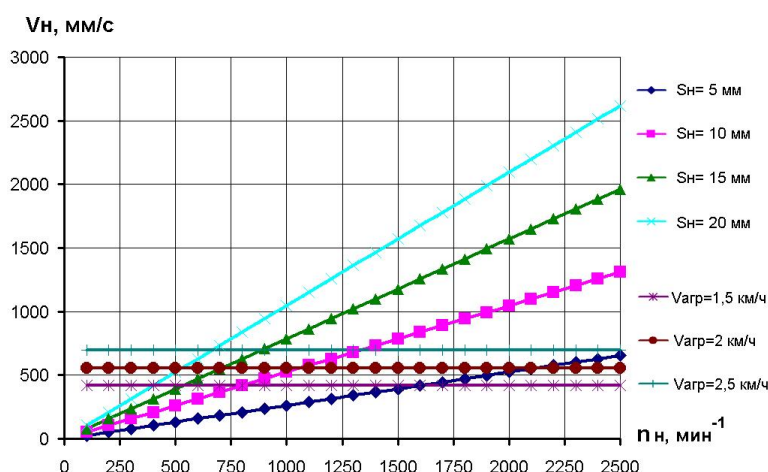


Рисунок 16 – График зависимости  $V_H = f(n)$

Анализ данной зависимости выявил следующее. Увеличение частоты вертикальных колебаний  $n_H$  во всём диапазоне приводит к линейному возрастанию скорости колебаний  $V_H$ . При этом увеличение амплитуды колебаний лезвия ножа  $S_H$  способствует более интенсивному возрастанию скорости колебаний. Однако граничными условиями параметра  $V_H$  являются технологические скорости трактора  $V_{agr} = 1,5...2,5$  км/ч, в соответствии с которыми соотношение  $V_H / V_{agr} > 1$  либо вообще не выполняется при амплитуде ножа  $S_H \leq 5$  мм, либо выполняется частично (при  $V_{agr} = 1,5$  км/ч и значениях  $n_H \geq 1700$  мин<sup>-1</sup>). При амплитуде хода ножа  $S_H \geq 10$  мм соотношение  $V_H / V_{agr} > 1$  начинает выполняться при величине  $n_H = 800...1300$  мин<sup>-1</sup>, а при дальнейшем увеличении амплитуды наблюдается ещё большее снижение допустимых значений  $n_H$  до 300...600 мин<sup>-1</sup>.

**Заключение.** Таким образом, с учётом вышерассмотренных ограничений по частоте вертикальных колебаний подрезающих ножей ( $1000 \leq n_H \leq 2000$  мин<sup>-1</sup>) и амплитуде колебаний лезвия ножа ( $5 \leq S_H \leq 15$  мм) для обеспечения эффективного процесса подрезания корней семян со скольжением целесообразно рекомендовать следующие технологические параметры вибрационной подрезки:

– амплитуда колебания лезвия ножа должна быть  $10 \leq S_H \leq 15$  мм. Уменьшение амплитуды до интервала  $1 \leq S_H < 10$  мм нежелательно из-за возможного отсутствия резания корней со скольжением. Увеличение амплитуды до  $S_H > 15$  мм нежелательно из-за получения недопустимо больших значений тягового сопротивления  $P_T$ ;

– частота вертикальных колебаний подрезающих ножей должна быть в пределах  $1000 \leq n_H \leq 1500$  мин<sup>-1</sup>. Уменьшение частоты колебаний до интервала  $300 \leq n_H < 1000$  мин<sup>-1</sup> нежелательно из-за потери преимуществ

вибрационной подрезки и возможного отсутствия резания корней со скольжением. Увеличение частоты колебаний до  $n_H > 1500 \text{ мин}^{-1}$  нежелательно из-за возникновения и чрезмерного возрастания инерционных нагрузок, а также получения недопустимо больших значений тягового сопротивления  $P_T$ ;

– при повышении влажности почвы амплитуду колебания лезвия ножа  $S_H$  желательно принимать минимальной.

### Список литературы

1. Драпалюк М.В. Влияние обрезки вершин на морфологические характеристики сеянцев дуба черешчатого / М.В. Драпалюк, В.Ю. Заплетин, О.М. Корчагин // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2006.– № 3. – С. 118–120.
2. 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. 111–14.
3. Драпалюк М.В. Обоснование основных параметров рабочих органов машины для подрезки корней сеянцев дуба в питомниках лесостепи: Дисс. ... канд. техн. наук / Драпалюк Михаил Валентинович; науч. рук. И.М. Бартенев; Воронежская государственная лесотехническая академия. – Воронеж, 2000. – 180 с.
4. 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.
5. Лесная энциклопедия: [В 2-х т.] / Гл. ред. Г.И. Воробьев; Ред. кол.: Н.А. Ануцин, В.Г. Атрохин, В.Н. Виноградов и др. – М.: Сов. энциклопедия, 1985. – 563 с.
6. Платонова М.А. Кинематические и динамические факторы вибрационного процесса подрезания корней / М.А. Платонова, А.А. Платонов // Современные проблемы и перспективы рационального лесопользования в условиях рынка: Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. – СПб.: СПбГЛТУ, 2011. – С. 109–114.