

2) установленные аналитические зависимости сил сопротивления корчевки от диаметра пня в виде формул (7), (8), (9), (10) соответствуют физическому смыслу явлений и отражают реально существующую зависимость;

3) полученные формулы вполне соответствуют опытным данным, они удобны при выполнении вычислительных работ;

4) формулы можно рекомендовать в практику расчета и конструирования рабочих органов корчевальных машин и агрегатов.

Л и т е р а т у р а

1. Албьяков М.П. Механизация работ по возобновлению леса. М., 1966.
2. Будыка С.Х. Основные принципы и методы гидротехнических мелиораций лесов Полесья. — "Труды ин-та леса АН БССР". Т. 49. Минск, 1959.
3. Зеленин А.Н. Резание грунтов. М., 1959.
4. Иориш Ю.И. Виброметрия. М., 1963.
5. Леонович И.И. Графики и таблицы для дорожных одежд. Минск, 1968.
6. Неймарк Ю.И. Теория вибрационного погружения шпунтов. — "Гидротехническое строительство", 1952, № 4.
7. Турчин А.М. Электрические измерения неэлектрических величин. Л., 1966.

Э.И. Махлин

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИИ НА КОРЧЕВКУ ДРЕВЕСНЫХ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ

В последние годы во многих отраслях народного хозяйства, в том числе и в строительстве гидролесомелиоративных систем и лесных дорог, начинают внедрять вибрационные машины, которые повышают уровень механизации многих трудоемких работ, увеличивают экономическую эффективность и повышают производительность труда. Однако вопрос влияния вибрации на процесс корчевки древесных корневых систем недостаточно изучен и теоретически неполно обоснован. Эффективность вибрационных машин обуславливается характером воздействия их на обрабатываемую среду. Изучение особенностей вибрации дает возможность создать наиболее эффективные рабочие органы агрегатов, в том числе и корчевальных.

Основными факторами, влияющими на процесс корчевки пней, являются интенсивность вибрации, под которой подразумевается амплитуда и частота колебаний, а также равнодействующая внешних статически действующих сил, приложенных к головному корню.

Экспериментально установлено, что корчевка становится возможной, когда амплитуда вибрации превышает величину начальной амплитуды A_0 , зависящей от частоты вибрирования, типа и влажности почвы, размеров и массы древесных корней и рабочего органа, соотношения между вынужденными колебаниями вибрации с пнем и собственными колебаниями системы "деревянная корневая система — почва". Роль частоты вибрации при корчевке весьма велика, потому что значение возмущающей силы, величина которой для обеспечения корчевки должна достигать вполне определенного значения, зависит от квадрата частоты.

Наиболее общей моделью лесной среды следует считать четырехфазную дисперсную систему, состоящую из твердой среды — почвы и древесной корневой системы; жидкой — воды, заполняющей поры скелета и почвы, и газообразной — некоторого количества содержащегося в почве воздуха, водяных паров. Под влиянием вибрации в среде происходят резкие изменения. Части, расположенные в зоне действия вибрационного рабочего органа, под влиянием интенсивной вибрации отделяются от общего массива и приводятся в колебательное движение. При этом частицы перемешаются по некоторой траектории, происходит интенсивное выделение газа и воды. Образовавшиеся поры заполняются твердой средой почвы. В этом случае инерционные силы преобладают над влиянием молекулярных сил взаимодействия. Амплитуды перемещений отдельных частиц уменьшаются с увеличением расстояния от центра вибрации и затухают, когда силы инерции, развиваемые частицами, меньше сил сцепления и трения между ними.

Следует отметить, что коэффициент трения при вибрации почвы по стали уменьшается и при оптимальном значении влажности коэффициент трения при вибрации, например песка по стали, уменьшается в 40 раз (оптимальной влажности для песка будет 10, 18% и выше).

В зависимости от частоты вибрации коэффициент трения уменьшается; так при частотах $\lambda \geq 30$ гц при любой влажности коэффициент трения резко снижается.

Коэффициент внутреннего трения почвы во время вибрации уменьшается и для песка составляет 0,05--0,0087.

Отсюда следует основное правило для рационального применения вибрации — подбирать параметры машин в зависимости от свойств обрабатываемой среды (почвы и древесной корневой системы). Рабочий орган корчевальной машины совершает сложное движение. Вначале вибрирующий рабочий орган внедряется в почву, при этом уменьшается сопротивление трению металлических поверхностей рабочего органа о почву (коэффициент трения при этом уменьшается в десятки раз), затем колебания передаются упругой системе "почва — древесный корень". При этом уменьшается сопротивление экстракции древесных корней, так как значительно уменьшается коэффициент трения их о почву: вынужденные колебания, воздействуя на корневую систему и значительную массу почвы, очищают корни от комков земли. Частично рабочий орган внедряется в древесину корней, при этом происходит сжатие волокон, а затем и их прогиб. По мере накопления достаточной величины напряжения растяжения древесных волокон корня происходит расслоение их, а затем и разрушение.

При колебательном движении рабочий орган воздействует на корни многократными ударами, причем, число ударов (не больше числа периодов колебаний) пропорционально частоте и амплитуде колебания и обратно пропорционально скорости поступательного движения рабочего органа.

Вывод дифференциального уравнения движения системы произведен нами на основании некоторых положений, известных из теории линейных колебаний.

Известно, [2], что частота и амплитуда вынужденных колебаний зависит от свойств почвы. По нашему мнению, она зависит еще и от физико-механических свойств древесной корневой системы, от способов ее распространения, глубины залегания, внутреннего напряжения древесины, массы и размеров рабочего органа и корневой системы, от параметров вибратора. При этом следует рассматривать почву как среду, обладающую упругими свойствами тела. В связи с тем, что амплитуда колебания незначительна по величине в сравнении с большим перемещением при внедрении рабочего органа в почву, реакция последней линейно зависит от перемещения.

Силами трения рабочего органа по его боковым поверхностям можно пренебрегать, так как они оказывают значительно меньшее влияние при вынужденных колебаниях рабочего органа. При этом принимаем, что вынужденные колебания рабочего органа одинаковы, но по частоте и фазе передаются почве и

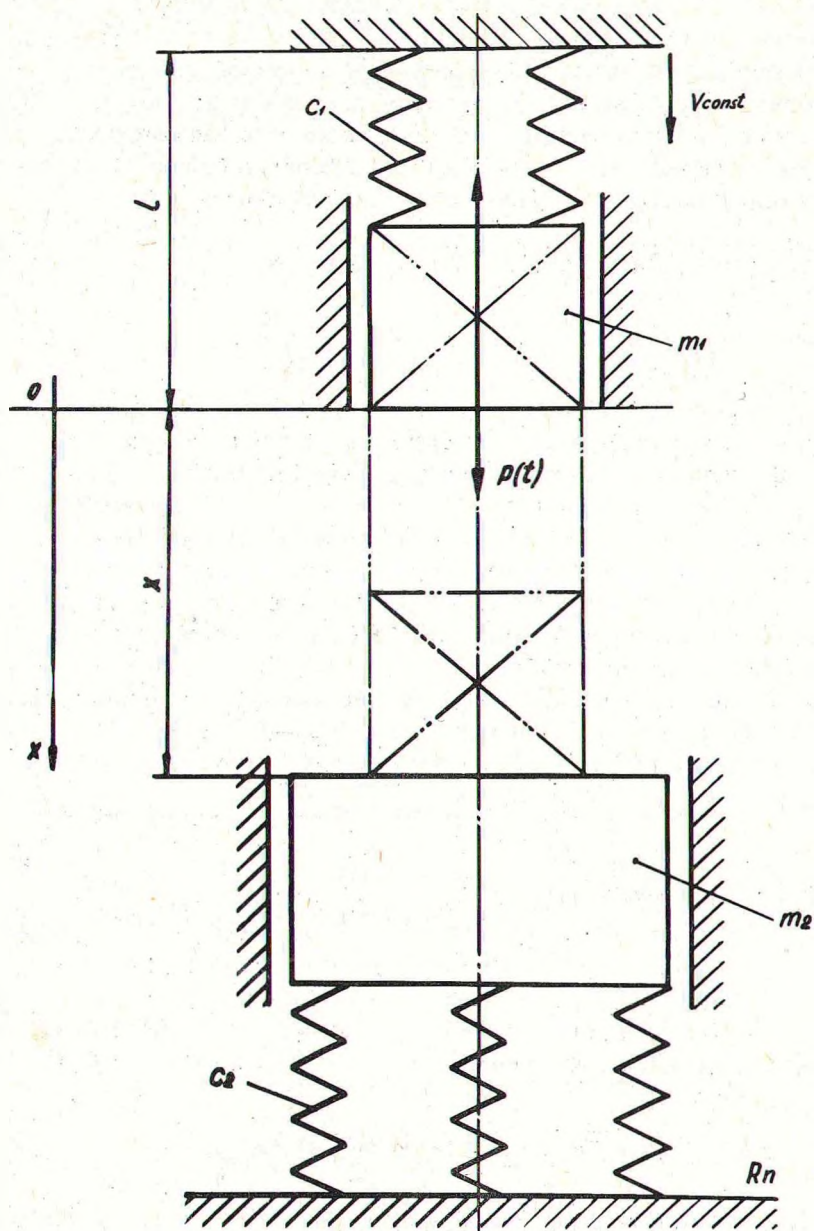


Рис. 1. Расчетная схема моделирования процесса экстракции древесных корней при колебании системы с одной степенью свободы.

древесной корневой системе и реакция их линейна. Отсюда можно сделать предположение, что между вибрационным рабочим органом и древесными корнями с почвой действует контактная сила. Заменяем упругость древесных корней и почвы системой эквивалентных пружин. Рассматривая систему, представленную на рис. 1, составим дифференциальное уравнение движения системы с одной степенью свободы:

$$(m_1 + m_2) \ddot{X} + \Delta \dot{X} + (C_1 + C_2) X = P_0 \sin \omega t - R_{\Pi}(x) + C_1(1 - vt), \quad (1)$$

где m_1 — масса рабочих органов и вибратора; m_2 — приведенная масса древесной корневой системы и почвы; C_1 — коэффициент жесткости амортизационных пружин; C_2 — коэффициент, учитывающий приведенную жесткость древесного корня и почвы; R_{Π} — приведенная реакция почвы; X — прогиб корня; v — поступательная скорость движения системы; l — длина амортизационных пружин (без деформаций); Δ — амплитуда колебаний вибратора; $P(t)$ — периодическая возмущающая сила вибратора.

Приведенную реакцию почвы, зависящую от изгиба древесного корня, разложим в степенной ряд. Под действием переменной нагрузки в зоне $\Delta X = X_{\text{раз}} - X_x$ происходит изгиб, а также частичное разрушение некоторых древесных корней:

$$R_{\Pi} = R_{\Pi}(X) = R_{\Pi}(X_x) + X_{\text{раз}} \left(\frac{dR_{\Pi}}{dX} \right)_{X=X_x} - \left(\frac{dR_{\Pi}}{dX} \right)_{X=X_x} \cdot X_x + \dots \quad (2)$$

Из уравнения (1) можно представить контактную силу рабочего органа, действующую на древесные корни в таком виде:

$$P_{\kappa} = m_1 \ddot{X} + C_1(1 + X - vt) + P_0 \sin \omega t \quad (3)$$

и силу сопротивления древесного корня, действующую на рабочий орган:

$$-P_{\kappa} = m_2 \ddot{X} + C_2 X + R_{\Pi}.$$

Таким образом, чтобы произошел процесс корчевки, необходимо, чтобы контактная сила была равна (или больше) сопротивлению разрушения корня.

Произведя некоторые преобразования и замену коэффициентов, получим уравнение (1) в следующем виде:

$$m\ddot{X} + \alpha\dot{X} + CX = P_0 \sin \omega t - A + Bt;$$

где $m = m_1 + m_2$; $C = C_1 + C_2 + \left(\frac{dR_{II}}{dX}\right)_{X=X_{\chi}}$;

$$A = -C_1 l + R_{II}(X_{\chi}) - X_{\chi} \left(\frac{dR_{II}}{dX}\right)_{X=X_{\chi}};$$

$$B = -C_1 v.$$

Разделив все члены уравнения на m , получим

$$\ddot{X} + 2\pi \dot{X} + P^2 X = \frac{P}{m} \sin \omega t - A_0 + B_0 t, \quad (4)$$

где $2\pi = \alpha / m$; $P^2 = C / m$;

$$A_0 = A / m; \quad B_0 = B / m.$$

Анализ уравнения (4) раскрывает физическую сущность процесса корчевки вибрационными рабочими органами.

Экспериментальные данные позволили получить зависимости, представленные на графиках (рис. 2,3), построенных применительно к сосновым пням (свежей зимней рубки) с поверхностной и стержневой корневой системой на песчаной и суглинистой почве соответственно.

На рис. 2 показана зависимость изменения сил сопротивления корчевки от диаметра пня на песчаной почве при колебании рабочих органов и древесных корней и при отсутствии их.

Сравнительный график изменения сил сопротивления корчевки от диаметра пня на суглинистой почве при наличии и отсутствии колебаний системы показан на рис. 3; вид и относи-

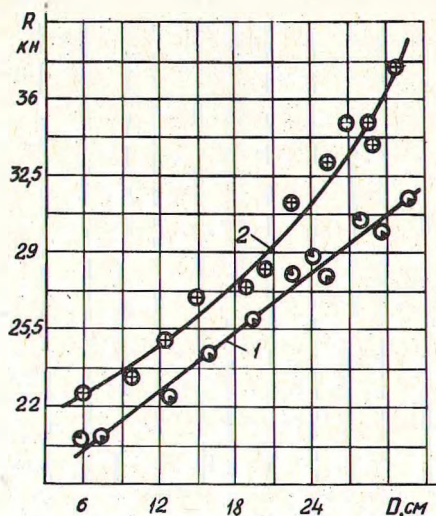
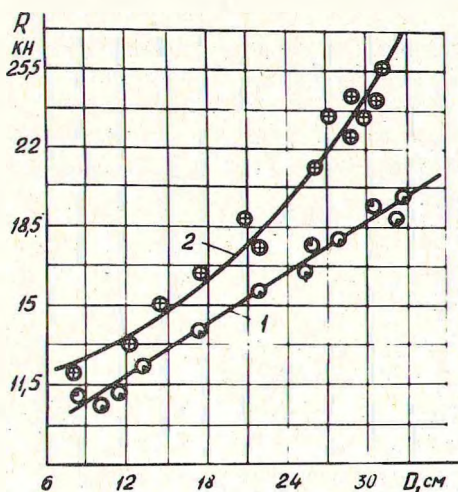


Рис. 2. Зависимость силы сопротивления экстракции от диаметра пня на песчаной почве: 1—при колебании рабочих органов и древесных корней; 2—при отсутствии колебания системы.

Рис. 3. Зависимость силы сопротивления экстракции от диаметра пня на суглинистой почве: 1—при колебании рабочих органов и древесных корней; 2—при отсутствии колебания системы.

тельное расположение кривых наглядно показывает эффективность вибрирующих рабочих органов.

Для определения количественной величины эффекта снижения сопротивления корчевки вибрирующими рабочими органами можно выразить коэффициентом влияния вибрации

$$\delta_B = 1 - \frac{R_B}{R}; \quad (5)$$

где R — силы сопротивления корчевки при отсутствии колебания системы; R_B — силы сопротивления корчевки при наличии колебаний системы.

Сравнение опытных данных, полученных при вибрационной и обычной корчевке древесных корней, показало, что $R_B < R$.

Подставляя в формулу (5) значение $R_B < R$, можно отметить, что величина коэффициента влияния вибрации имеет положительный знак, т.е. $\delta_B < +1$.

При этом необходимо подчеркнуть, что одного этого условия недостаточно для утверждения преимущества вибрирующих рабочих органов перед обычными, так как на поддержание колебаний системы требуется дополнительная затрата мощности, потребляемая вибратором. Поэтому необходимо соблюдать еще второе условие, которое можно выразить неравенством

$$(R - R_B) v_{\text{э}} \geq W_B, \quad (6)$$

где W_B — мощность, потребляемая вибратором; $v_{\text{э}}$ — скорость корчевки.

Подставляя значение разности $R - R_B$ из уравнения (5), неравенство (6) можно преобразовать в более удобный для расчетов вид

$$\delta_B R_B v_{\text{э}} \geq W_B. \quad (7)$$

Таким образом, для уменьшения энергоемкости процесса корчевки вибрирующими рабочими органами необходимо соблюдать следующее:

коэффициент влияния вибрации должен иметь положительный знак, т.е. $\delta_B < +1$;

мощность, потребляемая вибратором, должна быть меньше разности между мощностью корчевки при отсутствии колебаний рабочего органа $W_{\text{э.с}}$ и мощностью корчевки при наличии колебаний системы $W_{\text{э.к}}$

$$W_B < W_{\text{э.с}} - W_{\text{э.к}}$$

При этом уместно ввести также понятие коэффициента влияния мощности при виброкорчевке

$$\Delta_W = 1 - \frac{W_{\text{э.к}}}{W_{\text{э.с}}}. \quad (8)$$

После ряда преобразований уравнение (8) можно представить в следующем виде:

$$\Delta_W = \delta_B - \frac{W_B}{W_{\text{э.с}}}. \quad (9)$$

Из уравнения (9) видно, что коэффициент влияния мощности при виброкорчевке всегда меньше коэффициента влияния вибрации

$$\Delta W < \delta_B.$$

Он может принимать отрицательное значение, если $W_B > W_{э.с.}$, что недопустимо.

Отрицательное значение величины упомянутого коэффициента указывает на увеличение энергоемкости виброкорчевки, имеющей место при определенной интенсивности вибрации, т.е. зависящей от некоторых значений ее параметров — амплитуды и частоты колебаний — а также от соотношения поступательной скорости движения рабочего органа.

На основании проведенных исследований можно сделать выводы:

1) корчевка древесной корневой системы при правильно выбранной интенсивности вибрации, т.е. при оптимальных значениях амплитуды и частоты колебаний и соотношения поступательной скорости движения рабочих органов, позволяет снизить общую энергоемкость технологического процесса;

2) вибрирующий рабочий орган, осуществляя совместно поступательные и колебательные движения, уменьшает силы трения и сцепления почвы с древесными корнями;

3) дифференциальное уравнение движения колебательной системы (1, 3, 4) раскрывает физический смысл явлений, происходящих при корчевке древесных корней;

4) приведенные в работе коэффициенты влияния вибрации и мощности при виброкорчевке в виде формул (5), (8), (9) дают возможность количественно выразить эффект применения виброметода на практике.

Л и т е р а т у р а

1. Бабаков И.М. Теория колебаний. М., 1965.
2. Баркан Д.Д. Устройство оснований сооружений с применением вибрирования. М., 1949.
3. Будыка С.Х., Тихонов А.Ф. Лесопромышленный справочник. Минск, 1962.
4. Блехман И.И. Об эффективных коэффициентах трения при вибрациях. — "Изв. АН СССР. ОТН". М., 1958, №7.
5. Рахтеенко И.Н. Рост и взаимодействие корневых систем древесных растений. Минск, 1963.
6. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. М., 1959.
7. Шкуренко Н.С. Испытания экскаваторного ковша с вибрирующими зубьями. — "Механизация трудоемких и тяжелых работ". 1957, №7.