

В. И. ВИШНЯКОВ, А. Е. КАРАСЕВ

**Влияние физико-механических свойств семян
лиственницы на процесс высева
вибрационной сеялкой**

*Сибирский ордена Трудового Красного Знамени
технологический институт*

Лиственница в нашей стране является самой распро-
страненной породой. Рост объемов лесозаготовок требует

восстановления этой породы на вырубленных площадях. Поэтому выращивание посадочного материала лиственницы имеет большое значение.

С целью увеличения выхода посадочного материала с единицы площади необходимо применять сеялки, которые обеспечивают высокую равномерность распределения семян по площади высева. Перспективным направлением при разработке высокоэффективных сеялок является использование вибрации при дозировке семян из бункера. Существенное влияние на работу вибродозаторов оказывают физико-механические свойства семян.

Исследования по определению сил внутреннего трения и сцепления проводились на приборе П-10-С.

Срез образцов (объем семян) производился при пяти вертикальных нагрузках на трех образцах под каждой нагрузкой. Коэффициенты внутреннего трения и сцепления семян лиственницы определяли по графику зависимости сдвигающего усилия от вертикальной нагрузки, действующей на образец (объем) семян (рис. 1). Коэффициент сцепления равен ординате, отсекаемой графиком зависимости сдвигающего усилия от оси ординат. Коэффициент внутреннего тре-

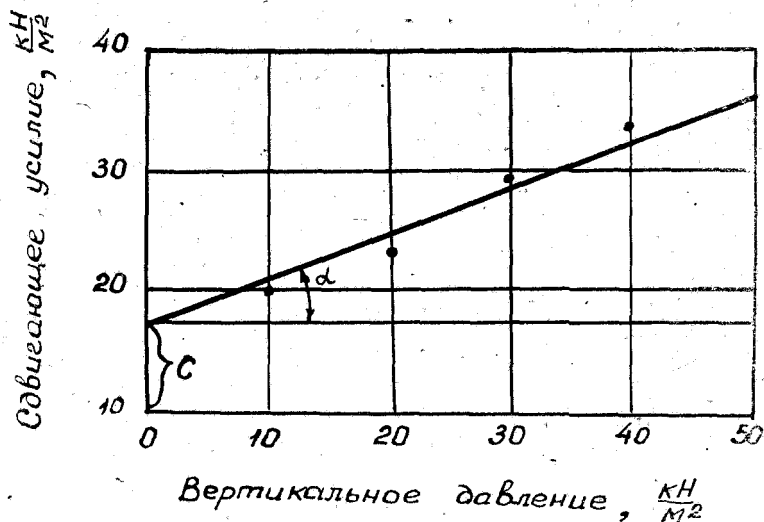


Рис. 1. Зависимость сдвигающего усилия от вертикальной нагрузки

ния равен тангенсу угла наклона прямой (графиком) сдвигающего усилия к оси абсцисс.

Наличие сил трения и сцепления обуславливает сводообразование в объеме семян при работе сеялок. Для предотвращения этого явления необходимо внешнее воздействие на объем семян листовенницы, находящихся в области свода.

Результаты экспериментов показывают, что для предотвращения сводов семян листовенницы достаточно воздействия колеблющейся плоскости без применения других устройств, например, сводоразрушителей и т. п.

Для предупреждения сводообразования в вибродозаторе ему необходимо сообщить такой режим колебаний, при котором инерционные силы, действующие на семена, превышали бы силы внутреннего трения и сцепления семян. Поэтому, чтобы дозатору можно было задавать вполне определенный режим работы, следует установить закон его движения.

Кинематическая схема исследуемого нами вибрационного высевающего аппарата для семян листовенницы приведена на рис. 2. Шатун содержит упругий элемент (пружины), который позволяет увеличивать пределы изменения амплитуды и ускорения движения дозатора за счет динамических свойств колеблющейся системы, а также исключить повреждение рабочих органов сеялки в случае возможных попаданий в высевающий аппарат посторонних предметов.

Движение дозатора происходит по радиусу относительно точки O_1 . В целях увеличения эффекта воздействия вибра-

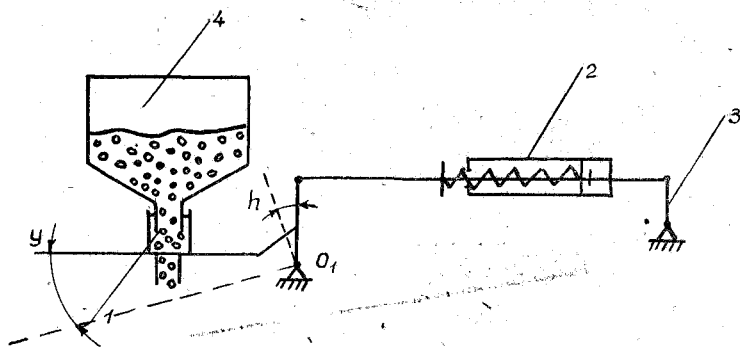


Рис. 2. Кинематическая схема вибрационного высевающего аппарата
1 — дозатор; 2 — шатун; 3 — кривошип; 4 — бункер

ции на семена дно дозатора расположено на одном уровне с точкой качания O_1 , т. к. в этом случае инерционные силы, действующие на семена, будут максимально способствовать их истечению через выпускное отверстие дозатора.

Запишем в общем виде уравнение движения дозатора, используя уравнение Лагранжа II рода:

$$-\frac{d}{dt} \left(\frac{dT}{df_1} \right) - \left(\frac{dT}{df_1} \right) = - \frac{d\Pi}{df_1}, \quad (1)$$

где T — кинетическая энергия системы; f_1 — обобщенная координата системы (угол поворота звена 1); Π — потенциальная энергия системы при отклонении ее от положения равновесия.

Кинетическая энергия системы равна

$$T = T_1 + T_2 + T_3, \quad (2)$$

где T_1 — кинетическая энергия дозатора; T_2 — кинетическая энергия шатуна; T_3 — кинетическая энергия семян листовницы.

Кинетическая энергия дозатора определяется из выражения

$$T_1 = \frac{1}{2} I_1 \cdot \omega_1^2 = \frac{1}{2} I_1 \cdot f_1^2, \quad (3)$$

где I_1 — момент инерции дозатора; $\omega_1 = f_1$ — угловая скорость дозатора.

$$T_2 = \frac{1}{2} m_{ш} \cdot V_{ш}^2 + \frac{1}{2} I_{ш} \cdot \omega_{ш}^2, \quad (4)$$

где $V_{ш}$ — поступательная скорость движения центра тяжести шатуна; $m_{ш}$ — масса шатуна; $I_{ш}$ — момент инерции шатуна относительно центра его тяжести; $\omega_{ш}$ — угловая скорость шатуна.

Так как длина шатуна во много раз больше эксцентриситета кривошипа и высоты стойки поворотного рычага дозатора (по предварительным расчетам

$$\frac{l_{ш}}{r} \approx 120 \text{ и } \frac{l_{ш}}{r_1} \approx 10 \div 15),$$

то угловое перемещение и угловая скорость шатуна будут значительно меньше угловых перемещений и скоростей кривошипа и поворотного рычага r_1 . Поэтому этими величинами с допустимой погрешностью можно пренебречь и в дальнейшем считать, что шатун совершает только поступательное движение. Тогда кинетическая энергия шатуна будет определяться только первым слагаемым уравнения (4).

$$T_2 = \frac{1}{2} m_{ш} \cdot V_{ш}^2.$$

Выразив скорость $V_{ш}$ через обобщенную координату f_1 , получим

$$T_2 = 1/2 m_{ш} \cdot r_1^2 \cdot f_1^2, \quad (5)$$

где $r_1 \cdot f_1 = V_{ш}$.

В связи с тем, что масса семян лиственницы, находящихся в дозаторе, будет значительно меньше массы самого дозатора, то будем считать $T_3 = 0$.

Подставив уравнение (3) и (5) в уравнение (2), получим

$$T = 1/2 (I_1 + m_{ш} \cdot r_1^2) f_1^2.$$

Продифференцируем полученное уравнение по обобщенной скорости f_1 .

$$\frac{dT}{df_1} = (I_1 + m_{ш} \cdot r_1^2) \cdot f_1. \quad (6)$$

Полученное уравнение продифференцируем по времени t .

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dT}{df_1} \right) = (I_1 + m_{ш} \cdot r_1^2) \cdot \dot{f}_1. \quad (7)$$

Потенциальная энергия системы при ее отклонении от положения равновесия на угол f_1 будет равна

$$\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4, \quad (8)$$

где Π_1 , Π_2 , Π_3 , Π_4 — потенциальная энергия соответственно дозатора, пружин, шатуна и семян лиственницы.

Так как для малых углов $y = r_1 \cdot \sin f_1 \approx r \cdot f_1$, то

$$\Pi_1 = m_1 \cdot g \cdot y = m_1 \cdot g \cdot r \cdot f_1, \quad (9)$$

где y — высота подъема дозатора при отклонении системы.

Потенциальные энергии шатуна и семян лиственницы, находящихся в дозаторе, в соответствии с ранее принятыми допущениями, будут равны нулю.

$$\Pi_2 = \Pi_{л пр} + \Pi_{п пр},$$

где $\Pi_{л пр}$, $\Pi_{п пр}$ — потенциальная энергия соответственно левой и правой пружин.

$$\Pi_2 = 1/2 c [(x_n + x_{ст}) + (f_1 \cdot r_1 - x_1)]^2 - 1/2 c [(x_n - x_{ст}) - (f_1 \cdot r_1 - x_1)]^2 = c (2x_{ст} - r_1 \cdot f_1 + f_1^2 \cdot r^2 - 2x_1 \cdot f_1 \cdot r_1 + x_1^2), \quad (10)$$

здесь x_n — деформации пружин от предварительного их сжатия; $x_{ст}$ — деформации пружин при статическом действии массы дозатора; x_1 — горизонтальное смещение шатуна

$$x_1 = r_2 \cdot \sin f = r_2 \cdot \sin \omega t,$$

где $\omega t = f_2$. Подставив уравнения (9) и (10) в уравнение (8), продифференцировав полученное выражение по f_1 , получим:

$$\frac{d\Pi}{df_1} = -mg \cdot r_1 + 2Cx_{ст} \cdot r_1 + 2Cf_1 \cdot r^2 - 2r_1 \cdot r_2 \cdot C \cdot \sin \omega t.$$

Так как $mg = 2C \cdot x_{ст}$, то последнее уравнение можно записать в следующем виде:

$$\frac{d\Pi}{df_1} = 2C \cdot r^2 f_1 - 2r_1 \cdot r_2 \cdot C \cdot \sin \omega t. \quad (11)$$

Учитывая, что $\frac{dT}{df_1} = 0$, то, подставив уравнения (7) и (11) в уравнение (1) и сделав соответствующие преобразования, получим

$$\ddot{f}_1 + R^2 f_1 = H_0 \cdot \sin \omega t,$$

где $R^2 = \frac{2C \cdot r_1^2}{I_1 + m_{ш} \cdot r_1^2}$; $H_0 = \frac{2r_1 \cdot r_2}{I_1 + m_{ш} \cdot r_1^2}$.

Это линейное неоднородное дифференциальное уравнение 2-го, порядка. Решив это уравнение при начальных условиях $f_1 = 0$, $t = 0$, $\dot{f}_1 = 0$, получим закон углового перемещения дозатора:

$$f_1 = \frac{H_0}{R^2 - \omega^2} \left(\sin \omega t - \frac{\omega}{R} \sin Rt \right),$$

Этот закон представляет собой разность двух гармонических колебаний с различными частотами. В действительности этот процесс будет наблюдаться лишь в самом начале работы дозатора, так как колебания с собственной частотой по истечению некоторого времени затухают под действием сил трения системы, которые не были учтены при составлении уравнения движения.

Так как высев семян листовницы будет проводиться при установившемся режиме работы дозатора, то практическое значение будут иметь только колебания с вынужденной частотой, закон которых будет следующим:

$$f_1 = \frac{H_0}{R^2 - \omega^2} \sin \omega t.$$

Угловая амплитуда колебаний дозатора равна

$$A_{уг} = \frac{H_0}{R^2 - \omega^2}.$$

Закон и амплитуда линейного перемещения дозатора будут соответственно равны

$$I = \frac{H_0 \cdot r}{R^2 - \omega^2} \cdot \sin \omega t; \quad A_{лин} = \frac{H_0 \cdot r}{R^2 - \omega^2}.$$

При работе вибрационного высевающего аппарата движение семян листовницы может происходить без отрыва от дна дозатора или с отрывом. Тот или иной режим движения семян будет определяться параметрами вибрации.

Предварительные экспериментальные исследования показали, что предупреждение сводообразования в объеме семян лиственницы может быть достигнуто как при отрывном, так и безотрывном режимах работы дозатора. В связи с тем, что безотрывному режиму соответствуют более благоприятные условия работы дозатора (более низкие скорости и ускорения движения, пониженные инерционные нагрузки и т. д.), то настройка сеялки при высеве семян лиственницы должна производиться на этот режим.

Исследуем нагрузки, действующие на семена при работе дозатора в безотрывном режиме. Этот режим будет наблюдаться в том случае, когда максимальные ускорения движения дозатора при заданной частоте и амплитуде колебания будут меньше ускорения свободного падения. Нагрузка, действующая в этом случае на семена, будет полностью определяться ускорением движения дозатора, которое определяется уравнением:

$$\ddot{y} = -\frac{H_0 \cdot r \cdot \omega}{R^2 - \omega^2} \sin \omega t = -A_{ин} \cdot \sin \omega t.$$

Очевидно, что при безотрывном движении семян закон их перемещения, скорость и ускорения будут такими же, как и дозатора.

Инерционные силы, действующие при этом на семена, будут определяться следующим уравнением:

$$F_{ин} = -A_{ин} \cdot m_c \cdot \sin \omega t,$$

где m_c — масса семян.

Максимальные значения инерционных сил будут достигаться при смене направления движения дозатора в крайнем нижнем положении, время прохождения которого определяется уравнением:

$$t = \frac{R\pi}{\omega}$$

(при работе дозатора в дорезонансном режиме, т. е. когда $R > \omega$).

Следовательно, условие безотрывного истечения семян через отверстие дозатора будет равно

$$P + F_{ин} > F_{тр} + F_{сц},$$

где P — сила веса семян лиственницы; $F_{тр}$ — сила трения; $F_{сц}$ — сила сцепления.

Для оценки уравнения движения дозатора нами были проведены экспериментальные исследования, результаты которых приведены в таблице.

Ускорение и амплитуда колебания дозатора

Режим работы дозатора	Частота вращения ведущего звена привода С.1	Ускорение движения дозатора, м/с ²		Амплитуда, мм		Расхождение между расчет. и фактическими значениями, %	
		расчет.	факт.	расчет.	факт.	для	для
						ускорения	амплитуды
Холодной	7	7,9	7,4	4,1	3,8	6,3	6,8
	13	39,9	37,7	6,0	5,6	5,5	5,9
Рабочий	7	8,5	9,3	4,4	4,8	9,2	9,9
	13	44,1	48,0	6,6	7,2	8,2	7,7

Из таблицы видно, что расхождения между значениями, полученными расчетным и экспериментальным путем, не превышают 10%. Учитывая сложность расчета вибрационных систем, такое расхождение может быть вполне приемлемым.

Выводы

1. Внутренние силы трения и сцепления семян лиственницы нарушают рабочий процесс при их высеве сеялкой. Величина коэффициента внутреннего трения семян достигает значения 0,33, а коэффициент сцепления — 18,5 Н/м².

2. Для повышения качества посева семян лиственницы вибросялкой, инерционные силы, действующие на них при колебании дозатора, должны превышать силы трения и сцепления.

3. Максимальные значения инерционных сил, действующих на семена при безотрывном движении, будут достигать при смене направления движения дозатора в крайнем положении. Время прохождения этой точки определяется уравнением

$$t = \frac{R\pi}{\omega}$$