

## Технологии и средства механизации

УДК 502/504 : 631.311.5

**Ю. Г. РЕВИН**

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Московский государственный университет природообустройства»

### **ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА МАШИНЫ ДЛЯ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗАКУСТАРЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ**

*Приведены результаты расчета неровностей поверхности борозды при анализе работы прицепных, полуприцепных и навесных машин. Машина рассматривается как динамическая система, на вход которой влияет возмущающее воздействие в виде неровностей поверхности трассы. Это воздействие преобразовывается динамической системой, характеристики которой даны в статье.*

*Закустаренные земли, дренирование земель, колебания длины борозды, неровности трассы, спектральная плотность, амплитудно-частотные характеристики фрезерных машин, точность позиционирования рабочего органа по высоте.*

*There are given results of estimation of furrow surface irregularities when analyzing the operation of machines for draining bushed lands at three variants of their manufacturing: trailer, semitrailer and hinged. The machine is considered as a dynamic system the entry of which is effected by a perturbation action in the way of surface irregularities of the route. This action is transformed by a dynamic system the characteristic of which are given in the article.*

*Bushed lands, land draining, fluctuations of furrow length, route irregularities, spectral density, amplitude – frequency characteristics of milling machines, accuracy of positioning of the working element along the height.*

Одной из эффективных работ по освоению закустаренных земель является их сплошное глубокое фрезерование. Эти работы выполняются при помощи специальных машин: прицепных, полуприцепных и навесных. Значение

средней амплитуды колебания толщины обрабатываемого грунта – один из показателей оценки работы таких машин.

По данным [1], допустимое значение этой величины не должно превышать 10 % от средней толщины слоя.

При максимальной глубине фрезерования грунта, принятого за эталон при обработке закустаренных земель и равного 40 см, допуск отклонения траектории движения режущей кромки рабочего органа машины по вертикали не должен превышать 4 см [2].

Экспериментальные исследования, проведенные сотрудниками ВНИИГиМ, по оценке точности работы машин для фрезерования закустаренных земель дали возможность получить цифровые значения неровностей борозды после рабочих проходов этих машин. Так, для прицепной машины МТП-42 были зафиксированы следующие результаты: средняя амплитуда неровностей  $A_{cp} = 4,7$  см, волновые частоты  $\omega_1 = 10 \text{ м}^{-1}$  и  $\omega_2 = 4$ . Экспериментальные данные были получены также и для навесной машины НФМ-1.7. Для этой машины средняя амплитуда  $A_{cp} = 9,6$  см, волновые частоты  $\omega_1 = 8,6 \text{ м}^{-1}$  и  $\omega_2 = 3,8 \text{ м}^{-1}$ . К сожалению, эти измерения не позволяют сделать надежные обобщающие выводы из-за малого объема экспериментов, хотя необходимость в этом есть.

Теоретические исследования, представленные в статье, позволяют восполнить пробел в области расчетов, дающих возможность создавать мате-

матические модели по формированию взаимосвязей конструктивных характеристик машин и технологических процессов. В перспективе такие модели могут стать основой для создания машин с требуемыми качествами.

Оценим точность работы фрезерных машин по их разновидностям: прицепная (тип МТП-42), полуприцепная (тип МТП-44) и навесная (тип НФМ-1.7). Для анализа используем основную формулу статистической динамики [3, 4]:

$$S_{\text{вых}}(\omega) = S_{\text{вх}}(\omega)A^2(\omega), \quad (1)$$

где  $S_{\text{вх}}(\omega)$  – спектральная плотность неровностей поверхности трассы движения;  $S_{\text{вых}}(\omega)$  – спектральная плотность неровностей нижней продольной границы слоя обработанной почвы (колебаний днообразующей кромки, т.е. нижней точки фрезы);  $A(\omega)$  – амплитудно-частотная характеристика фрезерной машины при ее колебательном движении в продольной вертикальной плоскости.

Для прицепной машины передаточная функция

$$P_1(s) = \frac{\alpha e^{sl_1}}{1 - e^{-sl_2} + \alpha e^{-sl_2}}, \quad (2)$$

где  $l_1$  – расстояние от передней оси прицепной машины до оси вращения фрезы, что соответствует горизонтальной координате «днообразующей» кромки;  $l_2$  – расстояние от оси вращения фрезы до оси вращения заднего катка;  $\alpha = l_2 / (l_1 + l_2)$  (рис. 1).

Амплитудно-частотная характеристика:

$$A_1(\omega) = |P_1(i\omega)|. \quad (3)$$

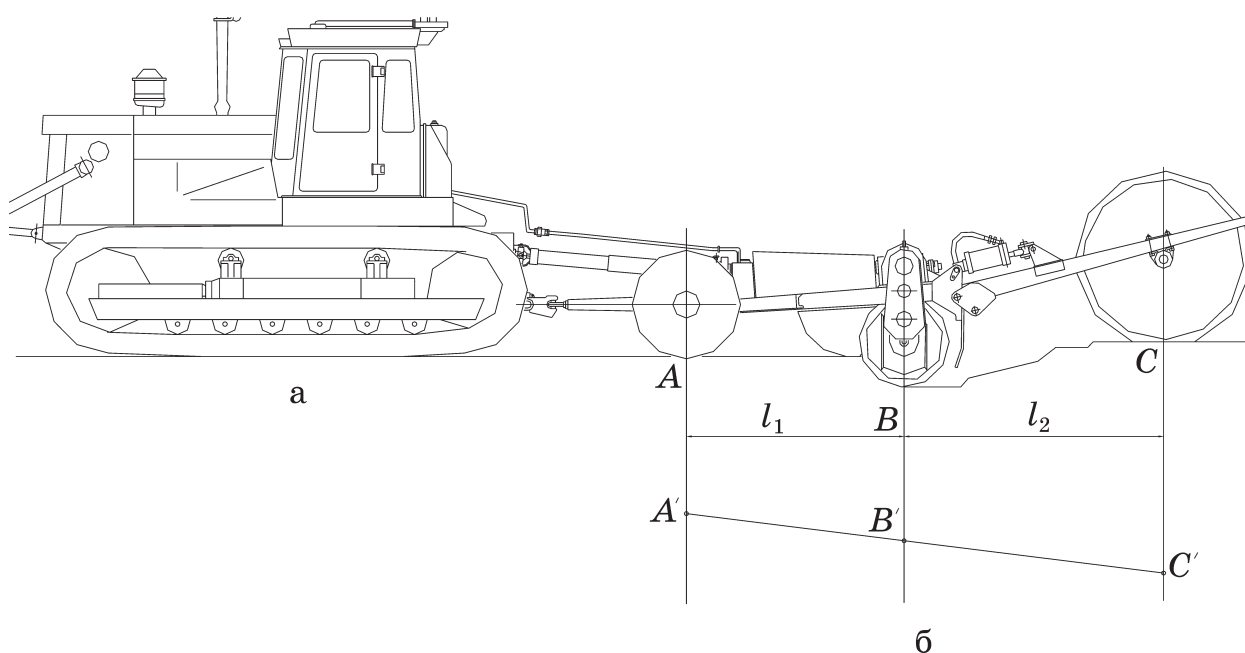


Рис. 1. Схема прицепной фрезерной машины к оценке точности ее работы: а – конструктивная схема машины типа МТП-42; б – расчетная схема

Спектральная плотность неровностей трассы движения может быть представлена следующим соотношением:

$$S_{\text{вх}}(\omega) = \frac{2A_1 D_1 \alpha_1}{\pi(\alpha_1 + \omega)^2} + \frac{A_2 D_1 \alpha_2}{\pi} \times \left[ \frac{1}{\alpha_2^2 + (\omega + \omega_0)^2} + \frac{1}{\alpha_2^2 + (\omega - \omega_0)^2} \right], \quad (4)$$

где  $D_1$  – дисперсия неровностей поверхности трассы;  $D_1 = 40 \text{ см}^2$ ;  $A_1$  и  $A_2$  – значения величин, показывающих, как распределяется общая дисперсия между двумя составляющими спектральной плотности;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – постоянные коэффициенты,  $\alpha_1 = 10 \text{ с}^{-1}$ ;  $\alpha_2 = 0,1 \text{ с}^{-1}$ ;  $\omega_0$  –

волновая частота неровностей,  $\text{м}^{-1}$ ;  $\omega_0 = 2\pi/T_0$ .

Для ориентировочных расчетов можно принимать  $\omega_0 = 0,6 \text{ м}^{-1}$  ( $T_0 = 10 \text{ м}$ ).

Применительно к прицепной машине типа МТП-42 средние амплитуды дна борозды составят по расчету  $A_2 = 3...4 \text{ см}$ . При этом  $l_1 = 2,6 \text{ м}$  и  $l_2 = 3,1 \text{ м}$ .

Рассмотрим результаты расчета амплитуд неровностей борозды применительно к полуприцепной фрезерной машине. На рис. 2 изображены конструктивная и расчетная схемы полуприцепной машины типа МТП-44.

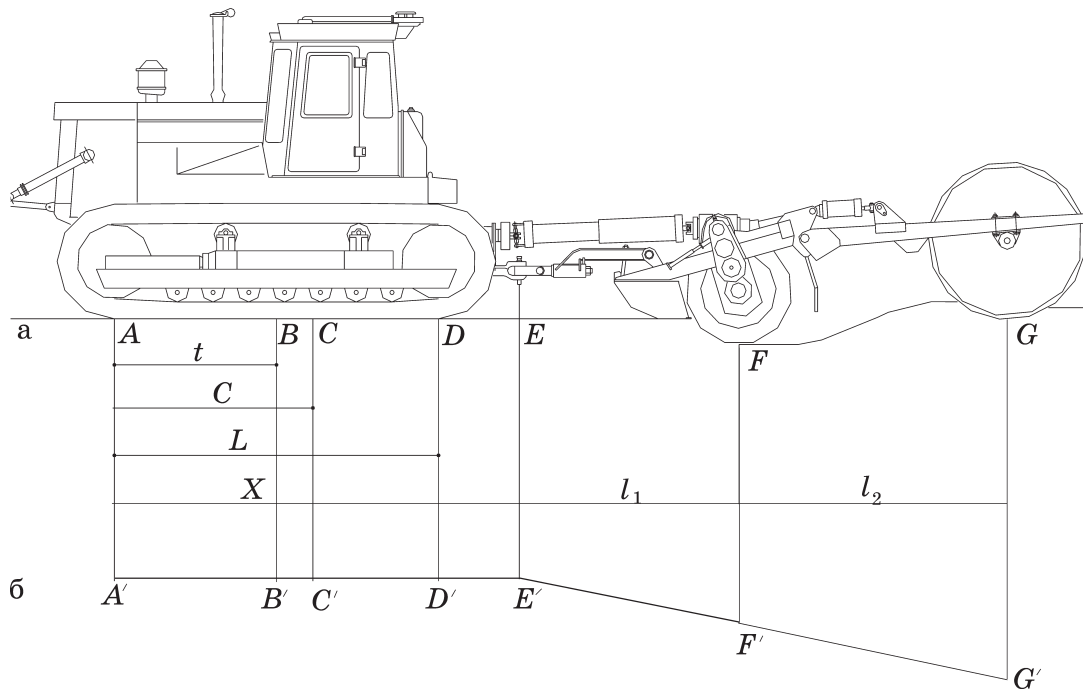


Рис. 2. Схема полуприцепной фрезерной машины к оценке точности ее работы: а – конструктивная схема; б – расчетная схема

Для полуприцепной машины передаточная функция

$$P_2(s) = P_B(s)P_M'(s), \quad (5)$$

где  $P_B(s)$  – передаточная функция трактора (базовой машины);

$$P_B(s) = \frac{X}{X + k(L - t)s + (X - c)s^2}, \quad (6)$$

где  $X$  – расстояние от переднего опорного катка трактора до точки прицепа рабочего оборудования;  $t$  – горизонтальная координата центра тяжести трактора;  $c$  – горизонтальная координата центра давления трактора;  $k$  – коэффициент пропорциональности;  $L$  – длина опорной базы трактора;  $P_M'(s)$  – передаточная функция полуприцепного рабочего оборудования;

$$P_M'(s) = \frac{\alpha e^{s l_1}}{1 - e^{-s l_2} + \alpha e^{-s l_2}}, \quad (7)$$

где  $l_1$  – расстояние от точки прицепного устройства трактора до оси вращения фрезы (днообразующей кромки);  $l_2$  – расстояние от оси вращения фрезы до оси заднего опорного катка;  $\alpha$  – коэффициент;  $\alpha = l_2 / (l_1 + l_2)$ ; для машины МТП-44 указанные параметры имеют следующие значения:  $l_1 = 2,4 \text{ м}$ ;  $l_2 = 3,1 \text{ м}$ ;  $X = 3,8 \text{ м}$ ;  $t = 1,6 \text{ м}$ ;  $L = 3,2 \text{ м}$ ;  $c = 2,0 \text{ м}$ .

Для того же вида входного возмущения и его количественных характеристик применительно к прицепной машине имеем средние амплитуды дна борозды, которые могут составлять  $A_2 = 5...6 \text{ см}$  (рис. 3).

Передаточная функция навесной машины в момент колебаний в вертикальной продольной плоскости имеет вид:

$$P_3(s) = \frac{X_1}{X_1 + k(L - t)s + (X_1 - c)s^2}, \quad (8)$$

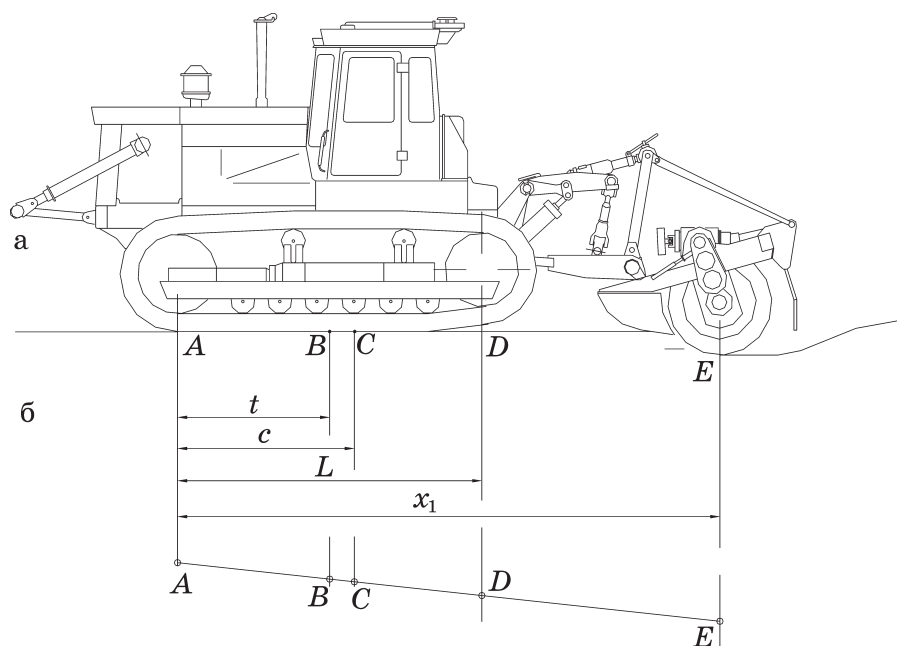


Рис. 3. Схема навесной фрезерной машины к оценке точности ее работы: а – конструктивная схема машины типа НФМ-1.7; б – расчетная схема

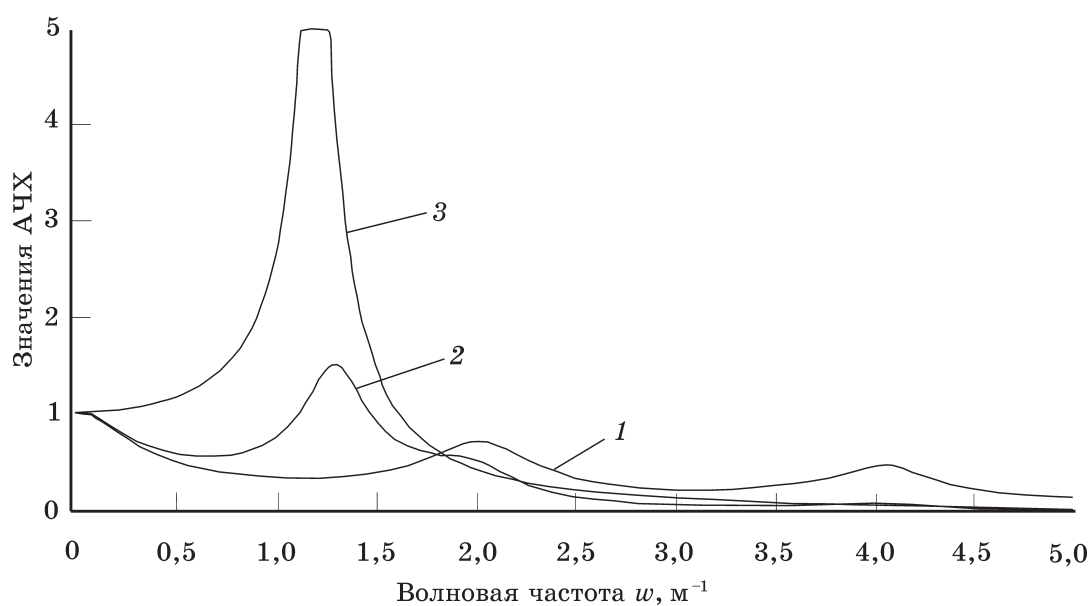


Рис. 4. Графики амплитудно-частотных характеристик машин для фрезерования закустаренных земель: 1 – прицепной машины; 2 – полуприцепной; 3 – навесной

где  $X$  – расстояние от переднего опорного катка трактора до оси вращения фрезы (днообразующей кромки).

Для навесной машины расчетные амплитуды неровностей борозды могут принимать значения, равные  $A_2 = 10...12$  см.

Анализ результатов расчетов по неровностям дна борозды дает основание утверждать, что самая лучшая точность позиционирования рабочего органа для прицепной машины, когда  $A = 3$  см, а самые большие колебания днообразующей кромки характерны для

навесной машины ( $A = 12$  см). Таким образом, отклонение толщины обрабатываемого слоя грунта при максимальном его значении 40 см все-таки больше значения допуска.

На рис. 4 представлены графики амплитудно-частотных характеристик прицепной 1, полуприцепной 2 и навесной 3 машин. Анализ этих характеристик объясняет, почему средние значения амплитуд неровностей дна борозды неодинаковы для разных

исполнений системы агрегатирования фрезерных машин с трактором.

### Выводы

Благодаря использованию математической модели машины для сплошного глубокого фрезерования закустаренных земель были получены результаты, позволяющие сделать вывод о достаточной адекватности этой модели экспериментальным данным.

Упрощенные модели навесной, полуприцепной и прицепной фрезерных машин позволяют выполнять оценочные расчеты уровня и структуры колебаний глубины обрабатываемого слоя грунта, результаты которых довольно корректно корреспондируются с данными практики и эксперимента.

Оценки колебаний толщины обрабатываемого слоя грунта свидетельствуют об устойчивом превышении амплитуд этих колебаний от заданных средних величин, соответствующих

технологическим требованиям. Особенно это ярко проявляется для полуприцепной и навесной машин.

1. **Борщев Т. С., Лисовский И. В.** Настройка и регулировка мелиоративных машин: справочник. – Л.: Ленинградское отделение «Агропромиздат», 1987. – 239 с.

2. **Кизяев Б. М., Мамаев З. М.** Культуртехнические мелиорации: технологии и машины. – М.: Ассоциация ЭкоСт, 2003, – 399 с.

3. **Лурье А. Б.** Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. – Л.: Колос, 1970. – 376 с.

4. **Докукин А. В., Красников Ю. Д., Хургин З. Я.** Аналитические основы динамики выемочных машин. – М.: Наука, 1966. – 156 с.

Материал поступил в редакцию 03.03.10.  
**Ревин Юрий Григорьевич**, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Мелиоративные и строительные машины»  
 Тел. 976-21-15, 976-22-22, 8-916-190-20-19  
 E-mail: jrevin@km.ru