

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОЛЕЙ, ПОДГОТОВЛЕННЫХ ПОД ПОСЕВ

И.Н. Шило, докт. техн. наук, профессор, Ю.В. Чигарев, докт. физ.- мат. наук., профессор,  
Н.Н. Романюк, И.Г. Рутковский, ст. преподаватели (УО БГАТУ)

### Аннотация

*Исследуются вероятностные характеристики микропрофиля поверхностей полей, подготовленных под посев. По результатам исследований получены корреляционные функции микрорельефа поля, как одного из основных источников внешних воздействий, влияющих на возникновение вибродинамических нагрузок на почву. Наиболее интенсивные возмущающие воздействия трактор испытывает при движении поперек основной обработки почвы.*

### Введение

Одним из основных внешних воздействий, которые влияют на возникновение вибродинамических усилий на почву, являются неровности поверхности почвы, относящиеся к категории случайных в вероятностно-статистическом смысле.

Для изучения влияния неровностей полей, как возмущающего воздействия на движение сельскохозяйственных МТА, необходимо установить их закономерности и определить статистические характеристики.

Профиль полей подразделяют на три составляющие: макропрофиль, микропрофиль и шероховатости, что обусловлено различным воздействием их на МТА. Макропрофиль, состоящий из длинных плавных неровностей (длина волны 100 м и более), практически, не вызывает колебаний трактора. Микропрофиль состоит из неровностей (длина волны от 0,1 до 100 м) и предопределяет колебания на подвеске. Шероховатости поверхности поля, имеющие длину волны менее 0,1 м, сглаживаются шинами и заметно не влияют на спектр вибрации колёсных сельскохозяйственных машин. Поэтому микропрофиль агрофона является одним из основных факторов, оказывающих влияние на формирование возмущающего воздействия на машину [1].

### Основная часть

Существуют различные способы снятия микропрофиля поверхности. Наиболее точным, но и самым трудоемким является способ профилирования при помощи оптического нивелира типа НА-1 и мерной рейки. В наших экспериментах запись профиля поля проводилась от туго натянутой между опорными кольями лески на высоте 300 мм от поверхности поля.

Выбор длины участка  $L$  для снятия профилограммы проводился с таким расчетом, чтобы погреш-

ность определения корреляционной функции  $R_f(\theta)$  и спектральной плотности  $S_f(\lambda)$  неровностей полей не превышала 2-5% [2].

Длину  $L$  исследуемого участка выбирали с учетом значения низшей частоты ( $\lambda_n$ ) возмущающего воздействия по зависимости [2]:

$$L \geq l_{\max}, \quad (1)$$

где  $l_{\max}$  – наибольшая длина неровности.

Приняв за предельное значение величину максимального сдвига, и, исходя из значения низшей частоты ( $\lambda_n = 0,9 \div 1,2c^{-1}$ )  $l_{\max}$ , находим по формуле [2]:

$$l_{\max} = \frac{2\pi}{\lambda_n} = 6м. \quad (2)$$

С учетом формулы (1.) длина участка  $L$  для снятия профилограммы  $L \geq 50м$ .

Интервал измерения высоты неровностей выбирали с учетом того, что число точек измерений на самой короткой длине неровностей должно быть не менее 5-10, поэтому расстояние между измеряемыми точками было принято равным  $\Delta l = 0,1м$ . Полученная реализация микропрофиля поверхности поля была скорректирована с учетом выявленного существующего диапазона частот и разбита на 5 отрезков.

Для определения вибродинамических нагрузок, возникающих при движении по неровностям, был исследован микропрофиль поверхностей пяти полей, подготовленных под посев, а обработка велась по усредненным значениям.

Профилирование поверхности поля проводилось в двух направлениях:

- поперек предыдущей обработки;
- вдоль предыдущей обработки.

По ординатам микропрофиля  $y_i$  определялись средние значения для двух направлений обработки по формуле [3]:

$$y_c = \frac{1}{n} \sum y_i, \quad (3)$$

где  $n$  - число реализаций.

После этого определялась система центрированных чисел:

$$\bar{y}_i = y_i - y_c, \quad (4)$$

и находилась функция корреляции  $R_f(l)$  [3], характеризующая взаимосвязь случайных значений функции по длине участка:

$$R_f(l) = R_f(j\Delta l) = \frac{1}{n-j} \sum_{i=1}^{n-j} \bar{y}_i \cdot \bar{y}_{i+j}, \quad (5)$$

где  $j=0, 1, 2, 3 \dots$

В расчетах пользуются нормированной корреляционной функцией [4]:

$$\rho(l) = R_f(l) / D_x, \quad (5)$$

где  $D_x = R_f(0)$  - дисперсия.

После проведенных вычислений были построены графики нормированных корреляционных функций (рис. 1).

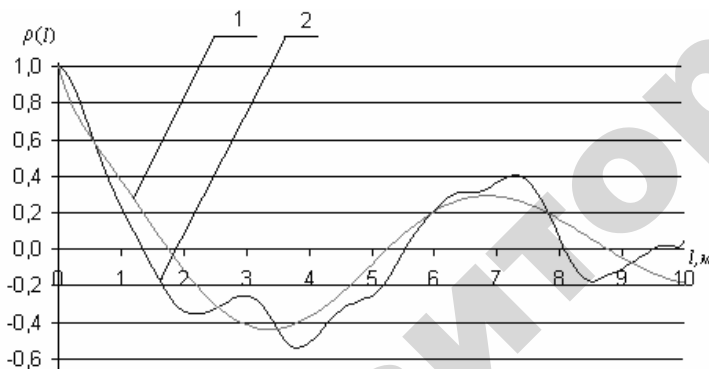


Рисунок 1. Нормированные корреляционные функции микропрофиля поверхностей поля, подготовленного под посев при профилировании вдоль предыдущей обработки: 1 - по результатам обработки измерений сечений; 2 - по аппроксимирующей аналитической зависимости.

Полученные экспериментальным путем корреляционные функции микрорельефа поверхности поля можно аппроксимировать выражением вида [3]:

$$\rho(l) = A_1 e^{-\alpha_1 l} + A_2 e^{-\alpha_2 l} \cos \beta l, \quad (6)$$

где  $A_1$  и  $A_2$  - безразмерные коэффициенты,  $A_1 + A_2 = 1$ ;

$\alpha_1$  и  $\alpha_2$  - коэффициенты, характеризующие затухание;

$\beta$  - коэффициент, характеризующий колебательный процесс.

На основании уравнения (6) получены нормированные корреляционные функции при профилировании:

- вдоль предыдущей обработки ( $D_x = 0,0339 \text{ м}^2$ ):

$$\rho(l) = 0,334 e^{-1,119/l} + 0,656 e^{-0,039/l} \cos 0,299l; \quad (7)$$

- поперек предыдущей обработки ( $D_x = 0,0824 \text{ м}^2$ ):

$$\rho(l) = 0,424 e^{-2,043/l} + 0,576 e^{-0,086/l} \cos 0,484l. \quad (8)$$

Выявлено, что закон распределения ординат функции  $\rho(l)$  близок к нормальному. Для определения спектральной плотности воздействия  $S_f(\lambda)$ , являющейся конечной целью статистического исследования микропрофиля, важной при исследовании динамических систем, необходимо перейти от корреляционной функции микропрофиля  $\rho(l)$  к корреляционной функции воздействия микропрофиля на сельскохозяйственную технику  $\rho(\tau)$ . Если задаться скоростью движения  $V_k$  и использовать соотношение:

$$\tau = \frac{l}{V_k}, \quad (9)$$

где  $\tau$  - промежуток времени, с;

$l$  - отрезок пути, м;

$V_k$  - скорость трактора, м/с,

то можно перейти от аргумента  $l$  к аргументу  $\tau$ .

Очевидно, что при скорости  $V_k = 1 \text{ м/с}$  коэффициенты  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\beta$  в выражении (6) остаются без изменения. Для любой скорости  $V_k \neq 1 \text{ м/с}$  справедливы соотношения:

$$\begin{aligned} \alpha &= \alpha_1 V_k; \\ \alpha' &= \alpha_2 V_k; \\ \beta &= \beta_1 V_k. \end{aligned} \quad (10)$$

Коэффициенты  $\alpha$ ,  $\alpha'$ ,  $\beta$  позволяют судить о характере микронеровностей. Большие значения  $\alpha$ ,  $\alpha'$  говорят о большой крутизне корреляционной функции, а, значит, о большом энергетическом уровне высокочастотных составляющих спектра неровностей, т.е. преобладании коротких волн. Рост коэффициента  $\beta$  ведет к увеличению частоты периодической составляющей.

С учетом уравнений (10) можно написать выражение нормированной корреляционной функции воздействия микропрофиля, соответствующее выражению (6):

$$\rho(\tau) = A_1 e^{-\alpha'|\tau|} + A_2 e^{-\alpha'|\tau|} \cos \beta\tau. \quad (11)$$

Связь между корреляционной функцией и спектральной плотностью  $S_f(\lambda)$ , являющейся важной статистической характеристикой микропрофиля, дающей представление о частоте повторения длин неровностей и о преобладающих частотах, устанавливается с помощью косинус-преобразования Фурье [3]:

$$S_f^n(\lambda) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \rho(\tau) \cos \lambda \tau d\tau, \quad (12)$$

где  $S_f^n(\lambda)$  – нормированная спектральная плотность;

$$S_f^n(\lambda) = \frac{S_f(\lambda)}{D_x}, \quad (13)$$

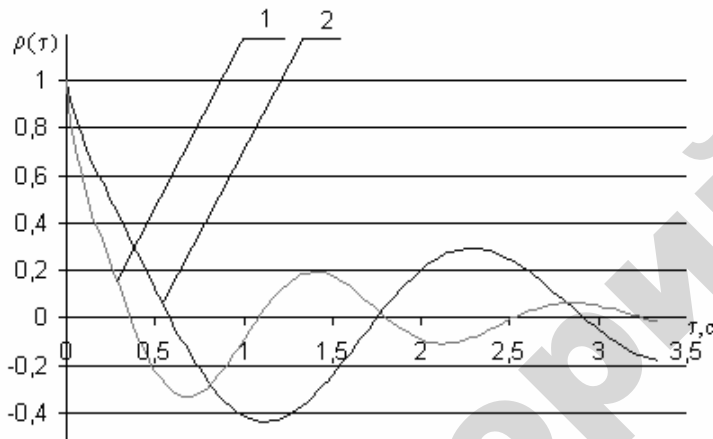


Рисунок 2. Нормированные корреляционные функции микропрофилей полей, подготовленных под посев: 1 – поперек предыдущей обработки; 2 – вдоль предыдущей обработки.

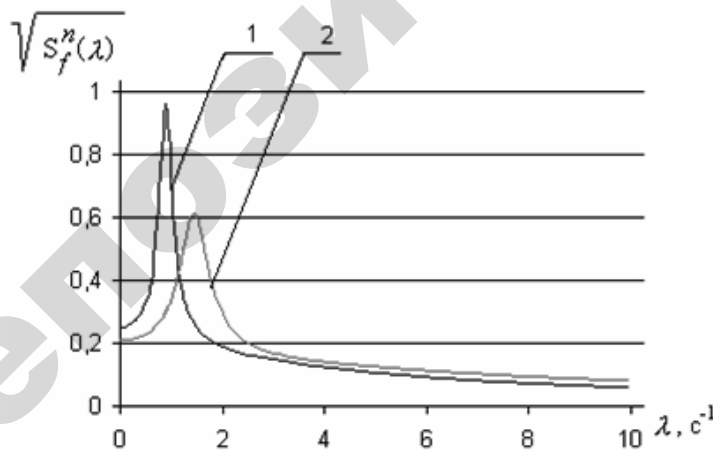


Рисунок 3. Нормированные спектральные плотности микропрофилей полей, подготовленных под посев: 1 – вдоль предыдущей обработки; 2 – поперек предыдущей обработки.

где  $\lambda = 2\pi/l_1$  – путевая частота,  $c^{-1}$ ;

$l_1$  – длина неровности.

На рисунках 2 и 3 представлены полученные на основании исследований кривые нормированных корреляционных функций микропрофилей полей, подготовленных под посев, и соответствующие нормированные спектральные плотности при  $V_K = 3 м/с$ , зависящие, в основном, от направления измерений. Для удобства на оси ординат на рисунке 3 отложено не  $S_f^n(\lambda)$ , а  $\sqrt{S_f^n(\lambda)}$ .

### Выводы

Корреляционные функции микрорельефа поля, подготовленного под посев, как одного из основных источников внешних воздействий, влияющих на возникновение вибродинамических нагрузок на почву, аппроксимируются выражением (7) при движении вдоль основной обработки и (8) – поперек основной обработки. Наиболее интенсивные возмущающие воздействия трактор испытывает при движении поперек основной обработки.

Анализ рисунков 2 и 3 показывает, что основной спектр частот микронеровностей полей, подготовленных под посев, находится в диапазоне частот  $0...3c^{-1}$ . Средние значения высот неровностей колеблются от  $0,02...0,05 м$  при измерении вдоль основной обработки и  $0,03...0,07 м$  – поперек основной обработки.

Неровности микропрофиля полей могут возбуждать значительные колебания МТА в продольно-вертикальной плоскости, поэтому для снижения уплотнения почвы необходимы технические решения, уменьшающие вибродинамические нагрузки пневмоколесных движителей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Полунгян, А.А. Колебания колесной машины и ее систем / А.А. Полунгян, А.Б. Фоминых, Л.Ф. Жеглов. – Москва: МГТУ, 1992. – 110с.
2. Кравченко, В.И. Уплотнение почв машинами / В.И. Кравченко. – Алма-Ата: Наука, 1986. – 96с.
3. Пархиловский, И.Г. Исследование вероятностных характеристик поверхностей распространенных типов дорог / И.Г. Пархиловский // Автомобильная промышленность, №8, 1968. – С.18-22.
4. Смирнов, Г.А. Теория движения колесных машин / Г.А. Смирнов. – 2-е изд., доп. и перераб. – Москва: Машиностроение, 1990. – 352с.