

УДК 664.7:631.3-52

## **АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ КОМБИКОРМА**

Диордиев В.Т., к.т.н.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 425797

Фурман И.А., д.т.н.

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко*

Тел. (057) 7123537

**Аннотация** – в статье приведена методика расчета и анализ параметров динамики движения компонентов комбикорма как сыпучей среды.

**Ключевые слова** - робастная модель, вариация внешних возмущений, широкополосный шум, ордината колебаний.

*Постановка проблемы.* При движении компонент меню комбикорма, как результатов решения задачи определения напряжённо-деформированного состояния материалов, необходимы измерения скорости распространения и показателя затухания (коэффициента демпфирования) упругих волн [1]. В этом случае необходима информация о гармонической зависимости от времени амплитуд колебаний: для сред, в которых волны удовлетворяют линейным уравнениям, где квазисинусоидная зависимость сохраняется при распространении волны, её отражении и рассеяния в потоке компонентов. Получение таких данных сопряжено со значительным объемом как экспериментальных исследований, так и вычислений.

*Анализ последних исследований.* В настоящее время большинство авторов [1-3] оценку параметров процессов массопередачи выполняют по параметрам гармонических волн разных частей, используя традиционный принцип суперпозиции и разложения в ряд Фурье. Поэтому актуальным является разработка менее трудоемкой методики оценки динамических свойств сыпучих сред.

*Формулирование цели статьи.* Целью статьи является разработка и реализация методики цифровой обработки сигналов, которая позволит значительно упростить вид робастных моделей распространения волн при реальной вариации вида и характеристик внешних воз-

мущений и установок регуляторов, а также аномальности их законов распределения для случаев плоской, сферической и цилиндрической идеализированных волн.

*Основная часть.* Наиболее распространённой является плоская волна (в линеаризованном представлении), в которой для ординат продольных (или поперечных) колебаний в направлении абсциссы  $\{x\}$  в момент времени  $t$  справедливо выражение

$$Y(x, t) = A_0 l^{-\alpha x} \sin w \left( t + \frac{x}{v} + y_0 \right), \quad (1)$$

где  $A_0$  – амплитуда колебаний возбудителя (рабочего органа) ( $x=0$ );

$Y_0$  – начальная фаза колебаний ( $t=0$ );  $w$  – круговая частота возбудителя.

Далее уравнение (1) представляется в виде ряда отсчётов по  $x$  с шагом  $h$ , меньшим чем длина волны  $\lambda = 2\pi/w$ , произведённых в идентичные моменты времени  $t_i$

$$y(kh, t) = A_0 l^{-\alpha k} * \sin(w_0 kh + \psi_{0i}), \quad (2)$$

где  $w_0 = w/v$ ;  $\psi_{0i} = wt_i + Y_0$ .

После применения к (2)  $z$  – преобразования по пространственной переменной и после обратного преобразования получаем разностную математическую модель авторегрессии

$$Y_{ki} = \lambda_1 Y_{(k-1)i} - \lambda_2 Y_{(k-2)i} + c_{0i} \delta_k + c_{1i} \delta_{k-1}, \quad (3)$$

где  $\lambda_1 = \lambda \exp(-\lambda h)$ ;  $\lambda_2 = \exp(-2\alpha h)$ ;  $\lambda_0 = 2 \cos w_0 h$  – инварианты разностной схемы, определяемые динамическими характеристиками  $v$ ,  $\alpha$  – и известной частотой  $W$ ;

$$c_{0i} = A_0 \sin \psi_{0i}; c_{1i} = A_0 l^{-\alpha h} * \sin(w_0 h - \psi_{0i}); \delta_k = \begin{cases} 1, k = 0; \\ 0, k \neq 0 \end{cases} - \text{цифровой}$$

анализ дельта-функции.

При  $k \geq 2$  модель (3) приобретает более простой вид. Для уменьшения случайных и систематических погрешностей измерения в ней  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  по отчётам ординат колебаний обратимся к среднеквадратическому приближению модели, осуществляя  $N+1$  раз во времени измерения в принятых точках, т.е. должно быть

$$E_1 = \sum_{i=p}^{N+P} (y_{ki} - \lambda_1 y_{(k-1)i} + \lambda_2 y_{(k-2)i})^2 \rightarrow \min(\lambda_1, \lambda_2), \quad (4)$$

где индекс {k} при выполнении текущего усреднения по временной координате будет переменным;

$E_1$  – мера адекватности модели (2).

Из решения нормальной системы уравнений  $\frac{\partial E_1(\lambda_1, \lambda_2)}{\partial \lambda_i} = 0; i = 1, 2$

определяются оптимальные, в среднеквадратическом смысле оценки  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ :

$$\hat{\lambda}_1 = \frac{R_2(p)R_1(p-1) - R_1(p)R_0(p-2)}{R_1^2(p) - R_0(p-1)R_0(p-2)}; \quad (5)$$

$$\hat{\lambda}_2 = \frac{R_0(p-1)R_2(p) - R_1(p)R_1(p-1)}{R_1^2(p) - R_0(p-1)R_0(p-2)}; \quad (6)$$

где  $R_m(p) = \sum_{i=p}^{N+P} Y_{ki} Y_{(k-m)i}; k \geq 2$ .

С учётом обозначений в (3) динамические характеристики плоской волны определяются через  $\lambda_1$  (или  $\hat{\lambda}_1$ ) из (5) и (6):

$$v = wh / \arccos \frac{\lambda_1}{\sqrt{\lambda_2}}, \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{1}{2h} \ln \frac{1}{\lambda_2}. \quad (8)$$

Из соотношения (2) и (3) следует выражение для амплитуды огибающей колебаний в момент времени  $t_i$  в точке с координатой  $(k-1)h$  по направлению  $x$

$$A_{(k-1)i} = \sqrt{Y_{(k-1)i}^2 + \frac{(2Y_{ki} - \lambda_1 Y_{(k-1)i})^2}{4\lambda_2 - \lambda_1^2}}. \quad (9)$$

Используя в (9) помехозащищённые оценки  $\hat{\lambda}_1, \hat{\lambda}_2$ , целесообразно и  $A_{(k-1)i}$ , находим из условия среднеквадратического приближения

$$\hat{A}_{k-1} = \frac{1}{N+1} \sum_{i=p}^{N+P} A_{(k-1)i}. \quad (10)$$

Выше, в формулах (5) – (10) не использовались абсолютные значения абсциссы  $x$ . При известном  $A_0$  найденные значения  $\hat{A}_{k-1}$  из (10) используются для определения  $x$ .

Если по каким-либо причинам амплитуда колебаний не измеряется, но  $x$  известна, то через  $\hat{\lambda}$  и  $\hat{A}_{k-1}$  вычисляется  $A_0$ .

Известно, что оценки (5), (6) и (10) обеспечивают высокую точность в предположении нормального широкополосного шума в пространственно-временных отчётах  $Y_{ki}$ . При существенной неоднородности среды, импульсных помехах в датчиках, трактах усиления и преобразования сигналов, неблагоприятных сочетаниях значений помех и сигналов модели (2) возникает проблема мультиколлинеарности соответствующих уравнений нормальной системы, устойчивости и возможности определения  $\hat{\lambda}_1, \hat{\lambda}_2, \hat{A}_{k-1}$ .

Для обеспечения робастности измерений следует принять  $p$ -var при среднеквадратическом сглаживании по временной переменной, где наряду с множеством оценок  $\hat{\lambda}_{1p}, \hat{\lambda}_{2p}, \hat{A}_{(k-1)p}$  необходимо вычислять и меру среднеквадратического приближения  $E_{1p}$ . В этом случае при ранжировании оценки  $\hat{\lambda}_{1p}, \hat{\lambda}_{2p}, \hat{A}_{(k-1)p}$ , отбрасывая часть из них, заменяя определёнными значениями или принимая их с весом, обратнопропорциональным соответствующей мере адекватности  $E_{1p}$ , получаем устойчивые оценки динамических характеристик. Моменты принятия  $i$ -х отсчётов во времени могут быть неэквидистантны, а выбираться из удобства каких-либо физических условий, например,  $Y_{(k-1)i} = 0, \forall_i$ , учёта характера помех в указанных точках фазового пространства. Сферическая волна описывается моделью для ординат колебаний:

$$y(x, t) = \frac{A_0 e^{-\alpha x}}{x} \sin \omega \left( t + \frac{x}{v} + \varphi_0 \right), \quad (11)$$

которая представляется нестационарной разностной схемой

$$ky_{ki} = (k-1)\lambda_1 y_{(k-1)i} - (k-2)\lambda_2 y_{(k-2)i} + c_{0i}\delta_0 - c_{1i}\delta_1, \quad (12)$$

в которой  $\lambda_i, c_i, \delta_i$  имеют тот же смысл, что и в (3),  $x$  – радиус волновой поверхности.

При  $k \rightarrow \infty$  схема (12) переходит в (3), т.е. сферическое поле можно аппроксимировать, в первом приближении, плоским.

Осуществляя среднеквадратическое приближение

$$E_2 = \sum_{i=P}^{N+P} (ky_{ki} - (k-1)\lambda_1 y_{(k-1)i} + (k-2)\lambda_2 y_{(k-2)i})^2 \rightarrow \min_{(\lambda_1, \lambda_2)} \quad (13)$$

имеем  $\hat{\lambda}_{1P}, \hat{\lambda}_{2P}$ , вычислив  $E_{2P}$  и осуществив указанную выше регуляризацию, получим устойчивые оценки  $\hat{\alpha}$  и  $\hat{\nu}$ .

Применяя соответственно преобразования (7) и (8) к математическим моделям, приведенным в [4], получим параметры дозированной подачи зерновых компонентов и премиксов с учётом их передаточных функций. На рис. 1 показаны частотные характеристики системы для плоской волны массопередачи;

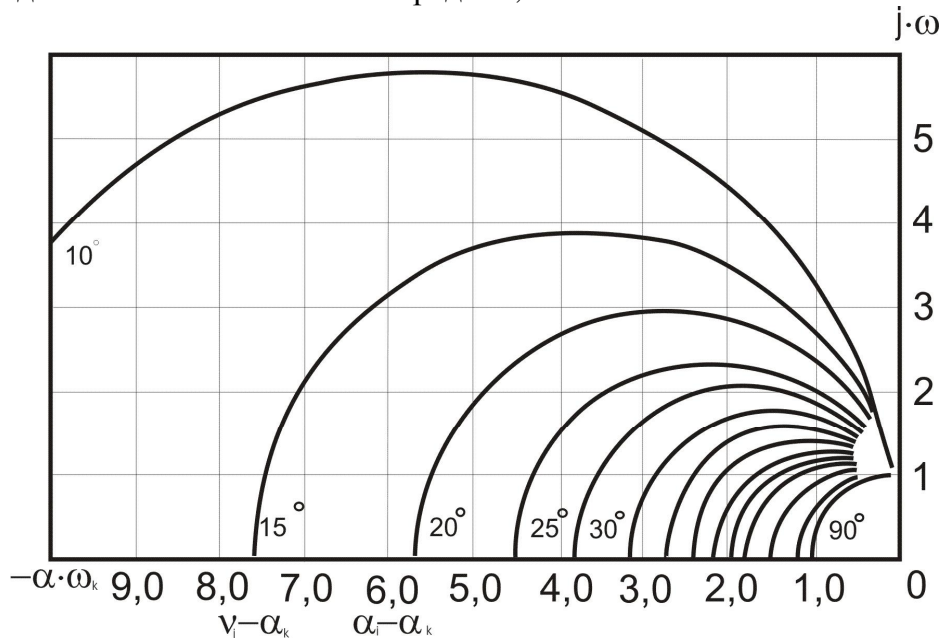


Рис. 1. Частотные характеристики динамического объекта.

Аналогично получены [5] частотные характеристики подсистемы измельчения, смешивания и обеззараживания компонентов.

*Вывод.* Рассмотренная методика с сохранением всех своих точностных характеристик распространяется и на случаи сферической и цилиндрической волн.

#### Литература

1. Киричков В.Н. Идентификация объектов систем управления технологическими процессами / Киричков В.Н. – Киев: Высшая школа, 1990. – 263с.
2. Просянык А.В. От локальных задач автоматизации к интегрированной АСУ комбината хлебопродуктов / А.В. Просянык [и др.] // Хранение и переработка зерна. - 2002. - №4. - С. 43-46.
3. Грановский В.А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях / Грановский В.А., Сырая Т.Н. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. - 288с.

4. *Діордієв В.Т.* Теоретические аспекты математического описания процесса производства комбикормов /*В.Т. Діордієв, А.О. Кашикаръов.* Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Вип. 87 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2009. – С 45-49

5. *Діордієв В.Т.* Декомпозиция задачи идентификации реального технологического процесса кормоприготовления./ *В.Т. Діордієв.* Праці Таврійського державного агротехнологічного університету, Вип. 9, Т.3. –Мелітополь: ТДАТУ– 2009 - С. 151 -159

6. *Діордієв В.Т.* Автоматизація процесів виробництва комбікормів в умовах реформованих господарств АПК. – Сімферополь, Доля, 2004. - 136 с.

### **АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ РУХУ КОМПОНЕНТІВ КОМБІКОРМУ**

В.Т. Діордієв, І.О. Фурман

**Анотація** – в статті приведена методика розрахунку та аналіз параметрів динаміки руху компонентів комбікормів як сильного середовища.

### **ANALYSIS OF DYNAMICS OF THE SPACE-TIME TRAFFIC SETTINGS COMPONENT OF THE MIXED FODDER**

V. Diordiev, I. Furman

#### ***Summary***

**This article shows a method of calculation and analysis of the settings of the dynamics of motion of the components as loose feed medium.**