

дии уплотнения на вторую и возможность определения производительности агрегата для двухстадийного уплотнения посредством вычисления суммарного сечения стружки отделяемого растительного сырья.

Литература

1. Генералов М. Б. Механика твердых дисперсных пород в процессах химической технологии / М. Б. Генералов. - Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2002. - 592 с.
2. Кокорин В.Н. Теория и практика процесса прессования гетерофазных увлажненных механических смесей на основе железа / В.Н. Кокорин, А.И. Рудской, В.И. Филимонов, Е.М. Булыжев, С.Ю. Кондратьев. - Ульяновск: УлГТУ, 2012. - 236 с.
3. Панов И.М. Механико-технологические основы расчета и проектирования почвообрабатывающих машин с ротационными рабочими органами / И.М. Панов [Электронный ресурс]: Дис. д-ра технических наук: 05.20.01. - М.: РГБ, 2007.

Abstract

The paper presents mathematical aspects of two-stage plant raw material sequential seals and determining forces that occur during pressing plant material in a horizontal wedge - shaped channel. Results are presented for determining parameters of the supplying on the second stage seal in a twin-screw compactor.

УДК 631.348

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИНАМИКИ СОШНИКА

В.И. Мельник, д.т.н., Р.В. Антощенко, к.т.н.,

Аль-Фтиххат Моусаб Абдулвахид Моххамед, аспирант

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
им. П. Василенко, г. Харьков, Украина*

Предлагается методика обработки экспериментальных данных по измерению параметров движения сошника с целью реконструкции его траектории и выработки критерия степени сглаживания при аппроксимации результатов измерений методами Фурье.

Введение

Математическое моделирование – важная и общепризнанная часть многих исследований. Великий физик Роберту Кирхгофу писал: «Нет ничего

практичнее хорошей теории» [1]. К тому же техническая возможность изучить явление экспериментально есть далеко не всегда. Распределение семян относительно линии хода сошника является такой проблемой.

Основная часть

В работе [2] предлагается математическая модель посева, в основе которой лежит представление о линии рядка пропашных культур, как сумме гармоник, параметры которых (амплитуды, длины волн и начальные фазы), определяются псевдослучайно. Кроме того, методом Монте-Карло [3, 4] смоделирован вероятностный характер пропусков, высева двойников, всхожести семян, а также трехмерных отклонений давших всходы семян относительно траектории хода сошника [5].

Формулировка задачи исследований. Дальнейшее развитие предлагаемой модели требует решения частной задачи *по реконструкции траектории сошника*, которая рассматривается далее как проекция на горизонтальную плоскость.

Результаты исследований. Применим горизонтальную Декартову систему координат Oxy , ось абсцисс которой совпадает с идеальным направлением рядка посева, и рассмотрим линию $y = y(x)$ траектории хода сошника, представленную как разложение Фурье [6], в виде бесконечного тригонометрического ряда:

$$y(x) = \sum_{i=1}^{\infty} A_i \cos\left(\frac{2\pi}{L} ix + \phi_i\right), \quad x \in [0, L], \quad (1)$$

где: L – ширина интервала изменения x , для которого определено разложение; A_i , i/L и ϕ_i – амплитуда, длина волны (период) и начальная фаза i -той гармоники.

С некоторой, достаточной для технических применений, погрешностью, разложение (1) можно представить в конечной форме:

$$y(x) = \sum_{i=1}^n A_i \cos\left(\frac{2\pi}{L} ix + \phi_i\right), \quad x \in [0, L], \quad (2)$$

а значения A_i , ϕ_i , где $i = 0, 1, \dots, n$ – рассчитать, используя прямое дискретное преобразование Фурье [7].

Рассмотрим случай, когда скорость v перемещения сошника в направлении оси абсцисс, в течение прохождения пути L , остается постоянной. Тогда x можно записать как функцию времени t , т.е. $x = x(t) = vt$, а выражение (2) представить так:

$$y(t) = A \cos\left(\frac{2\pi}{T}it + \phi\right), \quad t \in [0, T], \quad (3)$$

где: $T = L/v$ – период, а ордината $y = y(t)$, представлена как функция времени. Далее выражение (3) дифференцируем по t и получаем зависимость $v = v(t)$ скорости перемещения сошника в направлении оси ординат от времени:

$$v(t) = -A \frac{2\pi}{T} i \sin\left(\frac{2\pi}{T}it + \phi\right), \quad t \in [0, T]. \quad (4)$$

Теперь, дифференцируя (4) по t , получаем a_y – ускорение перемещения сошника в направлении оси Oy , как функцию времени:

$$a(t) = B \cos\left(\frac{2\pi}{T}it + \phi\right), \quad B = -A\left(\frac{2\pi}{T}i\right) \quad t \in [0, T]. \quad (5)$$

Технических проблем с экспериментальным измерением a , v , L и T нет, а значит, если, применив прямое преобразование Фурье, получить значения B и ϕ , то возможно восстановление функциональной связи $a = a(t)$ (5), а затем, путем последовательного интегрирования, сначала выражения $v = v(t)$ (4), а затем – $y = y(t)$ (3). Далее, учитывая, что $t = x/v$, осуществляем возможность реконструкции искомой траектории $y = y(x)$ (2).

Если ускорение a измерять через фиксированный интервал времени Δt , то в течение периода T , включая границы – начало и конец, будет выполнено K замеров:

$$K = T / \Delta t + 1, \quad (6)$$

результаты которых можно представить в виде двух множеств:

$$t = t(k) = k\Delta t = t \in \{t, t, ..., t\}, \quad k = 0, 1, ..., N, \quad N = K - 1, \quad (7)$$

$$a = a(k) = a \in \{a, a, ..., a\}, \quad k = 0, 1, ..., N, \quad N = K - 1. \quad (8)$$

Учитывая (6) – (8) преобразуем (5) в дискретную форму:

$$a = B \cos\left(\frac{2\pi}{N}ik + \phi\right), \quad k \in [0, N], \quad N > 2n, \quad (9)$$

пригодную для вычисления параметров B и ϕ путем применения прямого дискретного преобразования Фурье [7].

В результате прямого дискретного преобразования Фурье из множества (8) получаем $K = N + 1$ комплексных значений:

$$\tilde{a} = a \exp\left(\frac{-j2\pi}{K}ik\right), \quad i=0,1,\dots,K-1, \quad (10)$$

где j – мнимая единица. Разложим каждое комплексное $\tilde{a}$ на действительную R и мнимую I составляющие: $\tilde{a} = R + jI$. Далее, определим амплитуды $\tilde{B}_i$ и начальные фазы $\tilde{\varphi}_i$ гармоник:

$$\tilde{B} = K \sqrt{R + I}, \quad \tilde{\varphi} = \arctan(IR), \quad (11)$$

в отношении которых, применительно к разложению (9) известно [7], что, $\phi = \tilde{\varphi}$ и в силу зеркального эффекта из K возможных гармоник $\tilde{B}$ (11) следует использовать первую половину, а их амплитуды, исключая нулевую и среднюю гармоники, удвоить:

$$B = 2\tilde{B}, \quad i=1,2,\dots,N/2-1. \quad (12)$$

Этим поясняется требование $N > 2n$ (9). Теперь все величины, входящие в (9), определены.

Решив выражение (6) относительно $T = (K-1)\Delta t$, а также выражение B (5) – относительно $A = -4BT (\pi i)$, завершаем определение параметров из разложения (3) и (4).

На практике измерения физических величин, например, ускорения a (8) как функции t (7), выполняется с погрешностями (шумами). Когда погрешности невелики, то их можно сгладить, если в разложении (5) использовать $n \ll -N$ (9). Так удастся выделить искомую функциональную зависимость $a = a(t)$ из шума. Проблему составляет выбор n . Сглаживая шум, можно сгладить и $a = a(t)$, а, значит, утратить сущность изучаемого процесса.

На рис. 1 показано сглаживание методами Фурье ((5) при $n = 2N/100$) весьма зашумленных результатов измерения поперечного ускорения a_y (м/с²) сошника в процессе выполнения посева. Поскольку величина n не обоснована, то такой график малопригоден для изучения интересующих закономерностей.

Чтобы обосновать величину n , далее предлагается следующий алгоритм сглаживания: 1) Выполняем аппроксимацию экспериментальных данных a (8), применяя выражение (5) при максимальном значении

$n = \frac{1}{2}N - 1$; 2) Выполняем реконструкцию траектории движения сошника

и, воспользовавшись выражением $y = y(t)$ (3), вычисляем размах

$\Delta = |\max\{y(t)\} - \min\{y(t)\}|$ колебаний ординаты y в течение $t \in [0, T]$; 3) Сравниваем расчетное значение Δ_y с фактическим Δ_y^* , которое получено экспериментально в процессе измерения a_y (8); 4) Если $\Delta_y > \Delta_y^*$, то уменьшаем n на единицу и повторяем пункты 1 – 3; 5) Значение n , при котором достигается условие $\Delta_y \leq \Delta_y^*$, считаем обоснованным.

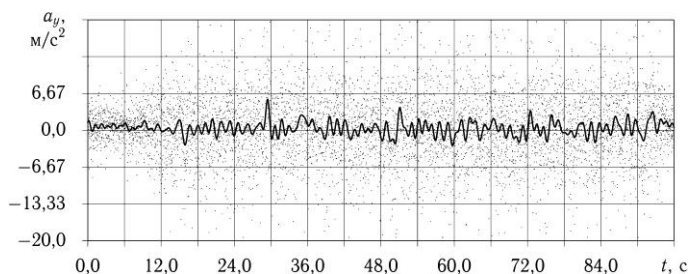


Рисунок 1 - Аппроксимация (линия) экспериментальных данных (точки) поперечной горизонтальной составляющей a_y ускорений, действующих на сошник

На рис. 2 представлены результаты реконструкции траектории движения сошника (поперечных отклонений (3)) на основе измерения горизонтальной составляющей его ускорений. Кривая 1 соответствует восстановленной функции $a_y(t)$, а кривая 2 – зависимости $y(t)$. При общем количестве замеров $K = 9665$ в течение $T = 96$ с задействовано $n + 1 = 12$ гармоник.

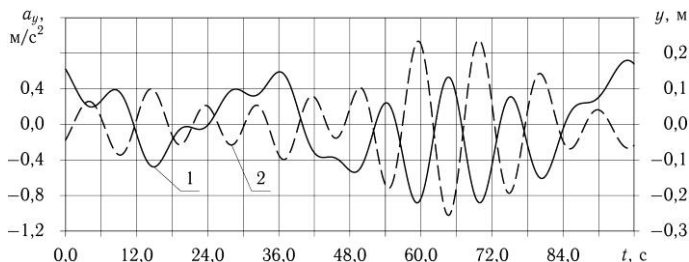


Рисунок 2 - Функциональные зависимости горизонтальной составляющей ускорения $a_y(t)$ (1) сошника и его ординаты $y(t)$ (2) от времени

Реконструированная таким способом траектория $y = y(x)$ в каче-

ственном смысле соответствовала фактическому следу сошника. Дальнейшее повышение точности реконструированная возможно за счет измерения и учета нестабильности величины $v_x = v_x(t)$ осевой составляющей скорости движения сошника.

Заключение

Предлагаемая методика обработки экспериментальных данных по измерению параметров движения сошника позволяет, во-первых, восстановить проекцию траектории хода сошника на горизонтальную плоскость и, во-вторых, получить критерий выбора количества используемых гармоник, задействованных при аппроксимации результатов измерений методами Фурье.

Литература

1. Большая книга афоризмов / Составитель К.В. Душенко. – [изд. 11-е, исправленное] – М.: изд-во «Эксмо», 2009. – 1054 с.
2. Мельник В.И. Математическое моделирование посева пропашных культур / В.И. Мельник, Аль-Фтиххат Моусаб Абдулвахид Моххамед // Бюллетень научных работ. Выпуск 31 / Белгород: Издательство БелГСХА им. В.Я.Горина, 2012. – С. 182 – 192.
3. Соболев И.М. Метод Монте-Карло / И.М. Соболев. – [4-е изд.] – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. – 80 с.
4. Михайлов Г.А. Численное статистическое моделирование: методы Монте-Карло: [учеб. пособие] / Г.А. Михайлов, А.В. Войтишек. – М.: Академия, 2006. – 366 с.
5. Мельник В.И. Проверка адекватности разработанной математической модели посева пропашных культур / В.И. Мельник, Аль-Фтиххат Моусаб Абдулвахид Моххамед, С.А. Никитенко // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету [Електронний ресурс]. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – Вип. 2, Т. 3. – С. 95 – 100. – Режим доступа: <http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/nvtdau>.
6. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления: [в 3 т.]. Т. 3. / Г.М. Фихтенгольц. – [8-е изд.] – М.: Физматлит, 2003. – 728 с.
7. Оппенгейм А. Цифровая обработка сигналов / А. Оппенгейм, Р. Шафер. – М.: Техносфера, 2006. – 856 с.

Abstract

The technique of experimental data on the measurement of motion parameters coulter for the purpose reconstruction of its trajectory and to develop criteria for the approximation of the degree of smoothing measurements Fourier methods.