УДК 641.5.06:620,111

МНОГОФАКТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ МАШИН ОЧИСТКИ КОРНЕПЛОДОВ

Заплетников И.Н., Дахов А.Г., Булганов С.С. (*ДонНУЭТ, г. Донецк, Украина*)

Аннотация. *В статье представлена методика экспериментального определения передаточных функций виброакустических систем машин очистки картофеля, результаты экспериментов с применением метода их планирования, получены эмпирические многофакторные модели, оценивающие влияние неуправляемых факторов машины на передаточные функции.*

Ключевые слова*:* *моделирование, виброакустика, картофелечистка, передаточная функция.*

1. Введение

Разнообразные передаточные функции (ФП) механических, автоматических и других систем используются для оценки эффективности выполнения технологических функций. В виброакустических системах машин ФП характеризуют еще и зоны виброактивности элементов машин, резонансные явления или потери колебательной энергии – демпфирующие явления. Определение ФП позволяет обнаружить оптимальные пути усовершенствования конструкции технологической машины с целью улучшения ее виброакустических характеристик (ВАХ). В качестве ФП виброакустических систем машин используется соотношение между амплитудами виброскоростей на выходе и входе из системы. Этот вид ФП целесообразно использовать благодаря ее простоте и возможности измерения величин V_1 и V_2.

2. Основное содержание и результаты работы

Целью работы является не только определение ФП машин очистки корнеплодов (МОК), но и установление эмпирических зависимостей влияния параметров машин, на ФП их виброакустических систем.

Предметом исследований являются машины МОК-150 и МОК-350, что серийно выпускаются Белорусским заводом торгового машиностроения в г. Барановичи.

Машина очистки картофеля представляет собой совокупность приводного механизма в виде асинхронного электродвигателя, клиноременной передачи и исполнительного механизма в виде вращающего конического абразивного диска. Рабочая камера машины выполнена либо в виде перфорированного цилиндра (МОК-150), либо в виде цилиндра, облицованного абразивными сегментами (МОК-350). Корпуса машин имеют различную конструкцию. Оси рабочих органов и электродвигателя соосны и располагаются вертикально. Шкивы клиноременной передачи вращаются в горизонтальной плоскости. Машины имеют производительность МОК-150 – 150 кг/ч, МОК-350 – 350 кг/ч.

Определение и исследование параметров ФП технологических машин МОК-150 и МОК-350 проведено на специальном стенде, на котором устанавливались поочередно две машины. Вибродатчики устанавливались на корпусах фланцевых электродвигателей и корпусах машин. Измерение проводилось в диапазоне 1–8000 Гц в октавных полосах частот прибором ВШВ-003М2 и датчиками ДН-3. Изменение виброскоростей машин записывалось через аналого-цифровой преобразователь в память компьютера. Амплитуды виброскоростей представляются в виде математических ожиданий значений, записанных одновременно на осциллограмме в реальном масштабе времени. В результате обработки полученных осциллограмм установлены значения виброскоростей V_1 и V_2 для машин, ФП, зоны резонансных явлений. Пример полученной осциллограммы приведен на рисунке 1.

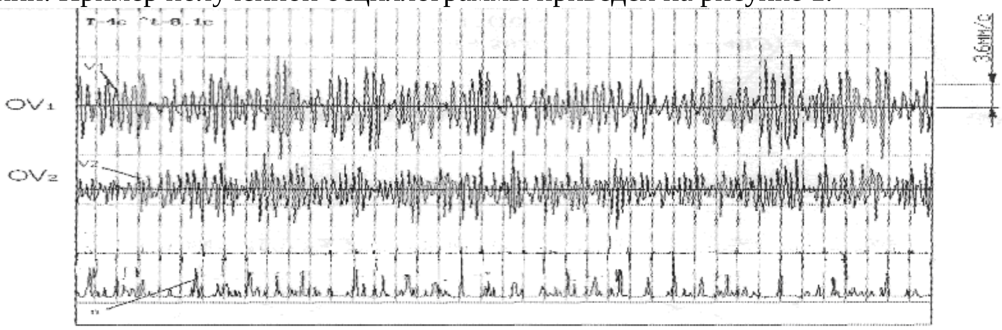

Рис. 1. Осциллограмма изменения виброскоростей, частота вращения рабочего органа n и отметка времени через 0,1 с машины МОК-150

Действительная ФП ($K_д$) картофелечисток определяется по результатам экспериментальных исследований V_1 и V_2. Оказалось, что его величина может быть не только меньше 1, но на ряде частот и более 1. Это свидетельствует о том, что исследуемая механическая система может не только демпфировать колебания, но и возбуждать их. Изменение величины $K_д$ в октавных полосах частот для картофелечисток представлено на рисунках 2 и 3 вместе с аппроксимацией. Уравнения аппроксимации 1 и 2 приведены ниже.

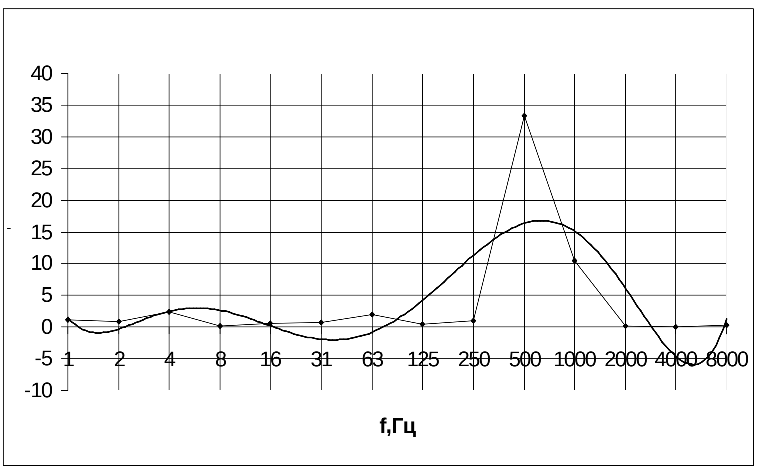

Рис. 2. График изменения ФП в октавных полосах частот машины МОК-150

Для машины МОК-150 на низких частотах 4, 63 Гц и на средних частотах 500 и 1000Гц действительная ФП составляет соответственно 2; 2,3; 33,3 и 10,4. Величина Кд для машины МОК-350 превышает единицу на низких частотах 2; 4 и 63 Гц и составляет, соответственно 1,06; 1,7 и 2,5.

Полученные результаты означают, что указанные частоты носят резонансный характер и целесообразно применить в конструкции машин демпфирующие устройства. Особенно это касается машины МОК-150 на средних частотах. Конструкция машины МОК-350 оказалась более виброустойчивой, чем машина МОК-150.

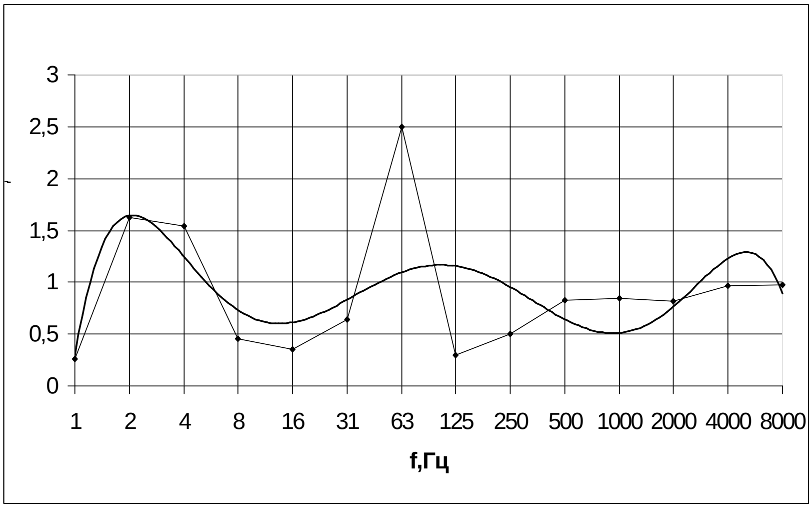

Рис. 3. График изменения ФП в октавных полосах частот машины МОК-350

$К_д = 0,0017f^6 - 0,0729f^5 +1,1567f^4 - 8,6516f^3+31,349f^2 – 50,504f +28,223$; $R^2 = 0,6016$ (1)

$К_д = -0,0002f^6+0,0075f^5 - 0,1357f^4+1,1959f^3 - 5,285f^2+10,652f - 6,1456$; $R^2 = 0,6219$ (2)

Идентификация источников вибрации машин МОК-150 и МОК-350 указывают, что она возникает на низких частотах от неуравновешенности рабочего органа – конического абразивного диска, на средних частотах (МОК-350) – от подшипникового узла.

Влияние внешних условий на ФП машин МОК-150 и МОК-350 исследовалась с помощью планирования эксперимента по методу Бокса-Уилсона. В качестве внешних факторов для МОК-350 использовались три независимых фактора:

• масса загрузки продуктом, m (загрузка 11кг +; загрузки 8 кг -) (X_3);

• частота вращения рабочего органа, n об/мин (495 +; 471 -) (X_2);

• коэффициент формы продукта, *l* (картофель круглый +; картофель продолговатый -) (X_1).

Для оценки влияния этих факторов на ШХ машины и построения многофакторной модели этого процесса проведен факторный планируемый эксперимент 2^3. За целевую функцию принимались ФП, уровни факторов приведены в таблице 1.

$$X_1 = \frac{l - 1,27}{0,23}; \qquad X_2 = \frac{n - 483}{12}; \qquad X_3 = \frac{m - 9,5}{1,5} \qquad (3)$$

Таблица 1. Уровни внешних факторов при планировании эксперимента МОК-350

Наименование	X_1	X_2, об/мин	X_3, кг
Верхний уровень	1,5	495	11
Нижний уровень	1,04	471	8
Единица варьирования	0,23	12	1,5
Основной уровень	1,27	483	9,5
Значения	*l*	*n*	*m*

В результате обработки экспериментальных данных получены адекватные уравнения регрессии в кодированных переменных ФП на низких частотах (125 Гц) K_{125}, средних (500 Гц) K_{500}и высоких (2000 Гц) K_{2000}.

$$K_{125} = 0.5975 - 0.58X_1 - 0.0575X_2 \quad (4)$$

$$K_{500} = 1.005 - 0.65X_3 \quad (5)$$

$$K_{2000} = 0.5038 + 0.0288X_1 - 0.059X_1X_2X_3 \quad (6)$$

В натуральных переменных уравнения регрессии имеют вид:

$$K_{125} = 0.5975 - 2.5(l - 1.27) + 0.005(n - 483) \quad (7)$$

$$K_{500} = 1,005 - 0,043\ (m - 9,5) \quad (8)$$

$$K_{2000} = 0,5038 + 0,13\ (l - 1,27) - 0,014\ (l - 1,27)(n - 483)(m - 9,5) \quad (9)$$

В машине МОК-150 в качестве внешних независимых факторов, влияющих на целевую функцию, выбраны: вид продукта *E*, (картофель или свекла) характеризуемый модулем упругости *E*, МПа - X_1, массой загрузки продуктом *m*, кг – X_2 и размер клубней *D*, мм - X_3.

Таблица 2. Уровни факторов при планировании эксперимента МОК-150

Наименование	X_1, МПа	X_2, кг	X_3,мм
Верхний уровень	4,5	8,0	60
Нижний уровень	2,5	6,0	38
Единица варьирования	1	1,0	11
Основной уровень	3,5	7,0	49
Значения	E	m	D

$$X_1 = \frac{m - 7}{1.0}; \qquad X_2 = \frac{D - 49}{11}; \qquad X_3 = \frac{E - 3.5}{1.0} \quad (10)$$

В результате обработки экспериментальных данных получены адекватные уравнения регрессии:

$$K_{125} = 1,1375 - 0,08X_1 + 0,0825X_3 \cdot X_1 \quad (11)$$

$$K_{500} = 2,215 - 0,498X_2 + 0,23X_3 \quad (12)$$

$$K_{2000} = 1,13 + 0,239X_1 - 0,536X_2 + 0,18X_3 \quad (13)$$

В натуральных переменных уравнения регрессии имеют вид:

$$K_{125} = 1,1375 - 0,08(m - 7) + 0,0825(E - 3,5) \cdot (m - 7) \quad (14)$$

$$K_{500} = 2,215 - 0,045(D - 49) + 0,23(E - 3,5) \quad (15)$$

$$K_{2000} = 1,13 + 0,239(m - 7) - 0,049(D - 49) + 0,18(E - 3,5) \quad (16)$$

Анализ уравнений (4 – 6) показывает, что на ФП машины МОК-350 на низких и высоких частотах оказывает форма картофеля, на средних – масса загружаемого продукта, на высоких частотах – все три фактора. Величина ФП наиболее значительна на низких частотах. На этих частотах на ФП значительно влияют обороты рабочего органа. $K > 1$, система возбуждается.

На ФП машины МОК-150 (11 – 13) на низких частотах оказывает влияние вид продукта, средних и высоких частотах – масса загружаемого продукта. На высоких частотах, в меньшей степени, вид продукта и его размеры. $K > 1$ на всех частотах.

Уравнения (7 – 9) можно использовать для инженерных расчетов ФП машин типа МОК, производительностью, близкой к 150 кг/ч, а уравнения (14 – 16) – ФП машин, производительностью ± 350 кг/ч.

Заключение

В машинах очистки картофеля типа МОК обнаружено наличие резонансных явлений на низких октавных частотах 4 и 63Гц, связанных с неуравновешенностью рабочего органа, также у машины МОК-350 ещё и с работой подшипникового узла на средних частотах.

К снижению ФП и, соответственно, улучшению ВАХ, машин очистительного технологического оборудования приводит увеличение коэффициента формы продукта, массы продукты, загружаемого в рабочую камеру машины.

При работе машин с продуктом конструкция МОК-350 оказалась более виброустойчивой, чем МОК-150. Наиболее опасными для обеих машин оказались низкие частоты.

Использование предлагаемой методики исследования ФП технологического оборудования позволяет оценить демпфирующие свойства конструкции, влияние внешних управляемых и неуправляемых факторов на виброакустические характеристики оборудования и разработать технические меры по оптимизации конструкции машин.

направлением дальнейших исследований является разработка аналитических методов определения ФП ВАХ технологических машин пищевых производств.

Список литературы: **1.** Заплетников И.Н. Моделирование виброакустических процессов технологического оборудования пищевых производств: Монография / Донецк: ДонГУЭТ, 2001. – 141 с. **2.** Поболь О.Н. Шум в текстильной промышленности и методы его снижения. – Москва: Легпромбытиздат, 1987. **3.** Тольский В.Е. Виброакустика автомобиля «Машиностроение». М., 1988. – 139 с.

Надійшла до редколегії 31.05.2010 р.

МНОГОФАКТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ МАШИН ОЧИСТКИ КОРНЕПЛОДОВ

MULTIVARIABLE MODELLING OF TRANSMISSION FUNKTIONS POTATO PEELING MACHINES

Zapletnikov I. N., Dahov A. G., Bulganov S. S.

DonNUET, Donetsk,Ukraine

In the article the method of experimental determination of transmission functions the vibroacoustic systems potato peeling machines, results of experiments, is presented with the use method of their planning, empiric multivariable models, estimating influence of out of control factors of machines on transmission functions, are got.

Key words: *modeling, vibroacoustics, potato peeling machine, the transfer function.*

БАГАТОФАКТОРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕДАТОЧНИХ ФУНКЦІЙ МАШИН ОЧИЩЕННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ

Заплетніков І.М., Дахов О.Г., Булганов С.С.

У статті представлена методика експериментального визначення передаточних функцій віброакустичних систем машин очищення картоплі, результати експериментів із застосуванням методу їх планування, отримані емпіричні багатофакторні моделі, що оцінюють вплив некерованих факторів машини на передатні функції.

Ключові слова: *моделювання, віброакустика, картоплечистка, передаточна функція*