

вом перепадов и длиной сепарирующих элеваторов.

На наш взгляд, существуют следующие направления для развития картофелеуборочной техники с точки зрения снижения механических повреждений клубней:

1) обоснование оптимального технологического процесса механизированной уборки картофеля для каждой почвенно-климатической зоны;

2) создание принципиальных схем картофелеуборочного комбайна для конкретных почвенно-климатических условий;

3) создание конструкций рабочих органов для определенных почвенно-климатических условий.

С учетом вышеизложенного нами предложены некоторые варианты конструкций картофелеуборочных комбайнов [7, 8].

Библиографический список

1. Картофелеводство зарубежных стран / Б.П. Литун, А.И. Замотаев, Н.А. Андрюшина. – М.: Агропромиздат, 1988. – 167 с.

2. Росс Х. Селекция картофеля. Проблемы и перспективы / Х. Росс; под ред. И.М. Яшиной; пер. с англ. В.А. Лебедева. – М.: Агропромиздат, 1989. – 183 с.

3. Рослов Н.Н. Хранение картофеля / Н.Н. Рослов. – М.: Агропромиздат, 1988. – 96 с.

4. Кузьмин А.В. Методы снижения повреждаемости клубней картофеля и совершенствования картофелеуборочных

машин: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / А.В. Кузьмин. – М., 2005.

5. Угланов М.Б. Разработка комплекса машин для уборки картофеля на основе совершенствования рабочих органов и рационального их сочетания: дис. ... д-ра техн. наук: 05. 20. 01 / М.Б. Угланов. – Рязань, 1989.

6. Соловьев Р.Ю. Критерии и методы оценки адаптивности картофелеуборочных агрегатов к зональным условиям на основе системного анализа процессов их функционирования, обеспечивающие повышение достоверности решений (рекомендаций) при их испытаниях: дис. ... канд. техн. наук / Р.Ю. Соловьев. – СПб., 2001.

7. Пат. 2210881 Российская Федерация, МПК⁷ А 01 D 17/00. Картофелеуборочный комбайн / С.В. Сосоров, Ч.Е. Арданов, Ю.А. Сергеев, А.В. Кузьмин; заявитель и патентообладатель Бурятская государственная сельскохозяйственная академия. – № 2001112455/13; заявл. 04.05.2001; опубл. 27.08.2003, Бюл. № 24. – 5 с.

8. Пат. 2324322 Российская Федерация, МПК А01D 17/00. Картофелеуборочный комбайн / А.В. Кузьмин, Ч.Е. Арданов, Э.Б. Вамбуева, Г.А. Хагдыров, В.В. Никишин, В.С. Болохоев; заявитель и патентообладатель Бурятская государственная сельскохозяйственная академия. – № 2005123661/11; заявл. 25.07.2005; опубл. 20.05.2008, Бюл. № 14. – 5 с.



УДК 621.9Т

А.А. Багаев,
В.Г. Лукьянов,
Р.С. Чернущ

ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО РАСХОДОМЕРА СЫПУЧИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

Ключевые слова: передаточная функция, центробежный расходомер, датчик, точность измерения, расход зерна, переходный процесс.

Введение

Одной из особенностей процессов зерноочистительно-сушильных пунктов,

комбикормовых и зерноперерабатывающих предприятий является возможность применения поточной технологии, предусматривающей последовательное выполнение ряда операций по доведению соответствующего продукта до требуемых кондиций качества.

Стабилизация загрузки машин оказывает значительное влияние на качество работы машин технологической линии и, следовательно, на качественные показатели готового продукта. Поточная технология невозможна без использования систем автоматического регулирования, одним из важнейших элементов которых являются устройства измерения расхода.

Расходомеры используются для оперативного контроля производительности различных машин и потоков сыпучих продуктов, а также в качестве датчиков автоматических дозаторов.

Одним из основных требований, предъявляемых к расходомерам сыпучих сельскохозяйственных продуктов, наряду с простотой и надежностью конструкции, стабильностью показаний, возможностью использования в системах автоматического регулирования, нетравмирующим воздействием на материал является точность. В таблице приведены показатели точности расходомеров сыпучих сельскохозяйственных продуктов различного типа, анализ

которой позволяет утверждать следующее [1, 2].

Каждый из приведенных расходомеров обладает совокупностью достоинств и недостатков. Например, тензометрические расходомеры характеризуются, с одной стороны, высокой точностью, а с другой – сложностью настройки, критичностью к ударным нагрузкам и организации процесса поступления материала в измерительный орган. Центробежные расходомеры удовлетворяют сформулированным выше требованиям при условии повышения их точности на основе более полного учета степени влияния факторов различной физической природы на ошибку измерения.

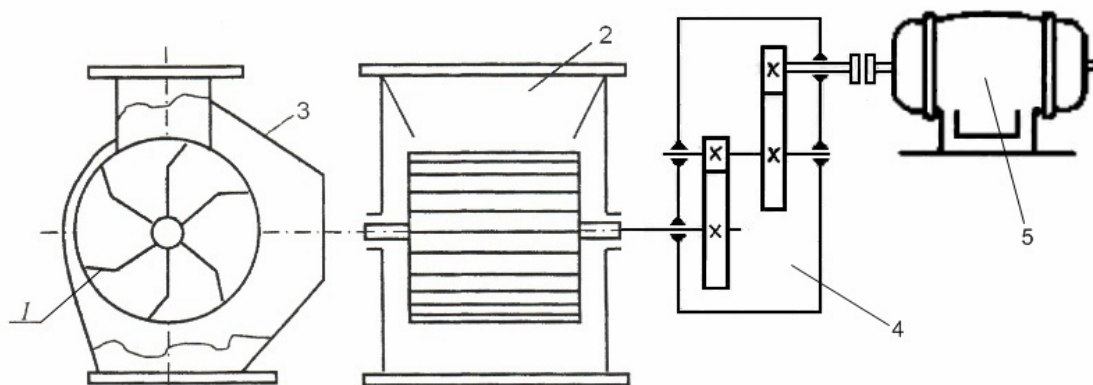
Объект и цель исследования

Расходомер состоит из датчика и вторичного регистрирующего прибора. Конструкция предлагаемого центробежного датчика показана на рисунке.

Таблица

Показатели точности расходомеров

Типы расходомеров	Погрешность измерения, %
Ленточные	4
Шнековые	4-7
Лотковые и вибрлотковые	2-4
Центробежные	2,5
Крыльчатые	4
Винтовые	4
На основе порционных весов	3
На основе весов, измеряющих динамическое воздействие струи материала (массометр)	1,5
На основе измерения геометрических и электрических параметров потока	5
Тензометрические	1



*Рис. Устройство центробежного датчика:
1 – потокочувствительная турбинка; 2 – входной патрубок; 3 – кожух; 4 – редуктор;
5 – электродвигатель*

Основными элементами датчика являются потокочувствительная турбинка 1, входной патрубков 2, кожух 3; редуктор 4 и электродвигатель 5.

Вторичный прибор предназначен для измерения скорости крыльчатки, вычисления расхода, визуализации производительности или количества материала, а также для управления питателем при использовании расходомера в качестве датчика дозатора.

Как известно, динамическая точность системы при случайном характере возмущающего воздействия определяется показателями качества переходных процессов, одним из методов исследования которых является построение и анализ передаточной функции объекта регулирования [3].

Целью работы является получение передаточной функции центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных продуктов.

Объект и результаты исследования

В соответствии с известной математической моделью момент сопротивления на валу двигателя центробежного датчика зависит от расхода материала и скорости крыльчатки [4].

Разность момента двигателя и момента сопротивления расходуется на ускорение или замедление вала двигателя. В этом случае уравнение вращающихся масс расходомера без учета влияния упругих связей принимает вид:

$$J_{\Sigma} \frac{d\Delta\omega_1}{dt} = M_{\delta} - M_c, \quad (1)$$

где J_{Σ} – момент инерции вращающихся масс, приведенный к валу двигателя;

ω_1 – угловая скорость вращения вала двигателя.

В пределах линейного рабочего участка механической характеристики для двигателей различного типа можно записать, что

$$M_{\delta} = f(\omega_1). \quad (2)$$

Момент сопротивления M_c является функцией расхода Q и угловой скорости крыльчатки ω_2 [4]:

$$M_c = f(\omega_2, Q). \quad (3)$$

Зависимости (2) и (3) являются нелинейными.

Применив метод линеаризации, запишем эти уравнения через приращения первого порядка:

$$\begin{cases} M_{\delta} = M_{\delta 0} + \left(\frac{\partial M_{\delta}}{\partial \omega_1}\right)_0 \Delta\omega_1 \\ M_c = M_{c 0} + \left(\frac{\partial M_c}{\partial \omega_2}\right)_0 \Delta\omega_2 + \left(\frac{\partial M_c}{\partial Q}\right)_0 \Delta Q \end{cases} \quad (4)$$

Подставив выражение (4) в уравнение (1) для стационарного режима ($M_{\delta 0} = M_{c 0}$) с учетом $d/dt = p$, получим линеаризованное уравнение динамики расходомера в приращениях:

$$\Delta\omega_1 \left[J_{\Sigma} p - \left(\frac{\partial M_{\delta}}{\partial \omega_1}\right)_0 + \left(\frac{\partial M_c}{\partial \omega_2}\right)_0 \frac{1}{i} \right] = - \left(\frac{\partial M_c}{\partial Q}\right)_0 \Delta Q, \quad (5)$$

где $i = \frac{\Delta\omega_1}{\Delta\omega_2}$ – передаточное число редуктора.

Умножив и разделив левую часть уравнения (5) на $\Delta\omega_{10}$, а правую на Q_0 и обо-

значив $\gamma = \frac{\Delta\omega_1}{\omega_{10}}$, $q = \frac{\Delta Q}{Q_0}$ запишем его в виде:

$$\omega_{10} \gamma \left[J_{\Sigma} p + \left(\frac{\partial M_c}{\partial \omega_2}\right)_0 \frac{1}{i} - \left(\frac{\partial M_{\delta}}{\partial \omega_1}\right)_0 \right] = - \left(\frac{\partial M_c}{\partial Q}\right)_0 Q_0 q, \quad (6)$$

где $\Delta\omega_{10}$, Q_0 – некоторые постоянные, в качестве которых можно использовать, например, номинальные значения скорости ротора двигателя и производительности расходомера.

Разделим левую и правую части урав-

нения (6) на $\left(\frac{\partial M_c}{\partial \omega_2}\right)_0 \frac{1}{i} - \left(\frac{\partial M_{\delta}}{\partial \omega_1}\right)_0$:

$$\omega_{10} \gamma \left[\frac{J_{\Sigma}}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \omega_2}\right)_0 \frac{1}{i} - \left(\frac{\partial M_{\delta}}{\partial \omega_1}\right)_0} p + 1 \right] = - \frac{\left(\frac{\partial M_c}{\partial Q}\right)_0 Q_0}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \omega_2}\right)_0 \frac{1}{i} - \left(\frac{\partial M_{\delta}}{\partial \omega_1}\right)_0} q. \quad (7)$$

Используя обобщенное уравнение механической характеристики линеаризованного двигателя [5]

$$(T_3 p + 1)M_\delta = -\beta\omega_2,$$

где T_3 – электромагнитная постоянная времени;

β – жесткость механической характеристики, можно записать:

$$\frac{\partial M_\delta}{\partial \omega_2} = -\frac{\beta}{(T_3 p + 1)}. \quad (8)$$

В результате подстановки равенства (8) в выражение (7) и ряда алгебраических преобразований получаем передаточную функцию по возмущающему воздействию – моменту нагрузки M_c – разомкнутой системы:

$$W_1(p) = \frac{\gamma}{q} = \frac{\left(\frac{\partial M_c}{\partial Q}\right)_0 \frac{Q_0}{\omega_{10}} (T_3 p + 1)}{J_\Sigma i T_3 p^2 + \left(J_\Sigma i + \frac{\partial M_c}{\partial \omega_2} T_3\right) p + \frac{\partial M_c}{\partial \omega_2} + \beta i}. \quad (9)$$

Частные производные $\frac{\partial M_c}{\partial Q}$ и $\frac{\partial M_c}{\partial \omega_2}$ в уравнении (9) являются постоянными коэффициентами, для определения которых используется зависимость момента сопротивления от расхода и скорости вращения турбинки [4]. Эта зависимость является иррациональной трансцендентной и неудобной для дифференцирования.

Введём следующие обозначения:

$$x_1 = \frac{\partial M_c}{\partial Q} \frac{Q_0}{\omega_0} i, \quad x_2 = J_\Sigma i, \\ x_4 = \frac{\partial M_c}{\partial \omega_2}, \quad x_5 = \beta i. \quad (10)$$

В результате подстановки (10) в уравнение (9) и последующих преобразований получим:

$$W_1(p) = -\frac{T_3 p + 1}{x_1 \left(p^2 \frac{x_2}{x_4 + x_5} + p \frac{x_2 + x_4 T_3}{x_4 + x_5} + 1 \right)}. \quad (11)$$

Учитывая принятые в теории управления обозначения коэффициентов передаточной функции колебательного звена, передаточная функция (11) принимает вид:

$$W_1(p) = -\frac{T_3 p + 1}{x_1 (T^2 p^2 + 2\xi T p + 1)}, \quad (12)$$

где T – постоянная времени расходомера;

$$\xi = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{x_2}{x_4 + x_5} \left(\frac{1}{\sqrt{T_3}} + x_4 \sqrt{T_3} \right)}.$$

Анализ результатов исследования

Полученная передаточная функция (12) центробежного расходомера позволяет определить характер переходного процесса, определяемый корнями характеристического уравнения

$$T^2 p^2 + 2\xi T p + 1 = 0. \quad (13)$$

Корни характеристического уравнения:

$$p = -\frac{\xi}{T} \pm \frac{1}{T} \sqrt{\xi^2 - 1}. \quad (14)$$

Значение ξ является важным показателем динамических свойств расходомера, непосредственно определяющим колебательность разомкнутой электромеханической системы.

Проанализируем выражение (14).

Переходный процесс имеет аperiodический характер, если $\xi \geq 1$ ($p_1 = -\alpha_1$, $p_2 = -\alpha_2$).

Если $\xi < 1$, то $p_1 = p_2 = -\alpha \pm j\omega$ и характер переходного процесса является колебательным.

Полученная передаточная функция позволяет определить производительность или количество материала путём вычисления «ошибки», представляющей собой разность между задающим и действительным значениями скорости крыльчатки $\omega_2 = f(M, Q)$: $\Delta\omega_2(t) = \omega_{20} - \omega_2(t)$, где ω_{20} – скорость крыльчатки в режиме холостого хода. Величина $\Delta\omega_2(t)$ определяется передаточной функцией ошибки:

$$\Phi(p) = -\frac{1}{1 + W_1(p)}. \quad (15)$$

Передаточная функция ошибки позволяет оценить качественные и количественные характеристики процесса измерения расхода, а также сформулировать ограничения на геометрические и энергетические параметры расходомера.

Выводы

В результате теоретических исследований получена оригинальная передаточная функция центробежного расходомера, связывающая параметры электродвигателя, рабочего органа и сыпучего продукта.

Полученная передаточная функция позволяет построить частотные характеристики и определить рациональное сочетание параметров механической части, обеспечивающее требуемые качественные характеристики переходного процесса и, следовательно, точность измерения расхода.

Передаточная функция центробежного расходомера как разомкнутой системы может быть использована при разработке дозатора сыпучих сельскохозяйственных материалов.

Библиографический список

1. Луткин Н.И. Расходомеры для зерна и сыпучих материалов / Н.И. Луткин. – М.: Колос, 1969. – 184 с.
2. www.vesdos.by.ru/texpod/prot_rahod_150.doc. Проточный расходомер. ТВИ-09. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
3. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем / Н.Н. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1962. – 628 с.
4. Багаев А.А. Использование момента кориолисовых сил для измерения массового расхода потока зерна и продуктов его размола / А.А. Багаев, В.Г. Лукьянов, Р.С. Чернусь // Вестник Алтайского аграрного университета. – 2008. – № 4 (42). – С. 47-49.
5. Ключев В.И. Теория электропривода / В.И. Ключев – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.

