

- технических и организационных средств для снижения количества производимого шлама;
- принципов (в дальнейшем – автоматических систем) управления параметрами сепарации для достижения оптимальных условий на протяжении процесса сепарации топлива, то есть непрерывного контроля качества процесса сепарации топлива.

Список литературы: 1. Черепанов Б.Е. Судовые вспомогательные и промысловые механизмы, системы и их эксплуатация. – М.: Агропромиздат, 1986. – 343 с. 2. Радченко О.П., Масленников А.А. Исследование реологии судового топлива // Судовые энергетические установки: научн.-техн. сб. – 2008. – Вып. 21. – Одесса: ОНМА, 2008. – С. 4-9. 3. Добровольский В.В., Ханмамедов С.А. Реологические характеристики судовых тяжелых топлив // Респ. наук.-техн. конф. „Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування”. – Херсон: ХДМІ. – 2010. – С. 49-50. 4. Исследование причин отказов топливной системы СЭУ при смене топлива // Ханмамедов С.А., Радченко О.П., Мацкевич А.Р., Борисенко В.Л., Петрик Н.М. // Мат. конф. „Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування”. – Херсон: ХДМА. – 2011. – С. 43-46

Поступила в редколлегию 27.08.2012

УДК 531.8

В.И. СЕРИКОВ, к.т.н., доц., доц. каф. ТММ и САПР НТУ „ХПИ”, Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ И ИХ ПРИРОДЫ ПРИ АНАЛИЗЕ ДОСТОВЕРНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЗМА

У статті обґрунтований і описаний метод оцифровки даних, що отримані в ході проведення низки експериментів та зафіксовані за допомогою шлейфового осциллографа К-12-22 на фотобумазі. Отримані числові дані дали змогу не тільки оцінити правильність обраної математичної моделі, а й з'ясувати природу періодичних коливань похибки.

Ключові слова: пружні коливання, періодична похибка, динамічні характеристики механізму.

В статье обоснован и описан метод оцифровки данных, полученных в ходе проведения ряда экспериментов и зафиксированных с помощью шлейфового осциллографа К-12-22 на фотобумаге. Полученные числовые данные дали возможность не только оценить правильность выбранной математической модели, но и выяснить природу периодических колебаний погрешности.

Ключевые слова: упругие колебания, периодическая погрешность, динамические характеристики механизма.

In the paper a method is founded and described for sampling data collected during a series of experiments and fixed on photo paper with K-12-22 loop oscillograph. Received numerical data have allowed not only to estimate correctness of chosen mathematical model, but also to clarify the nature of error periodic vibrations.

Keywords: elastic vibrations, periodic error, dynamic characteristics of mechanism.

© В.И. Сериков

Постановка проблемы. В практике проведения научных исследований приходится прибегать к анализу тех или иных процессов, происходящих в исследуемом объекте, с помощью косвенных показателей [1-4]. При этом могут возникать погрешности, обусловленные не только погрешностями измерений во время проведения эксперимента, но и в связи с неточностями в математической модели исследуемого объекта или в связи с упрощениями в такой модели. На записи результатов испытаний прослеживается периодическое изменение записываемых параметров на некотором промежутке хода механизма. Определение природы возмущений позволит судить об адекватности математической модели.

Основной материал. Во время проведения эксперимента [5] измерялись частота вращения вала электродвигателя, напряжение и сила тока, потребляемого электродвигателем. Указанные параметры фиксировались с помощью шлейфового осциллографа К-12-22. При измерении напряжения и силы тока использовались соответственно дополнительное сопротивление и шунт. Частота вращения определялась по сигналу индукционного датчика, установленного на валу электродвигателя. Сигнал датчика подавался непосредственно на осциллограф. Для количественной оценки соответствия расчетных и экспериментальных данных проводилась компьютерная обработка осциллограмм рабочих процессов.

В связи с этим были проверены различные варианты оцифровки осциллограмм (представления графического изображения в виде двумерного массива данных с целью их дальнейшей обработки).

Для получения численных значений фиксируемых величин была проведена тарировка датчиков и получены масштабные коэффициенты для расшифровки осциллограмм. Для анализа изменения указанных параметров в течение всего цикла работы необходимо было получить численные значения с достаточно маленьким шагом, величина которого выбиралась из условия возможности сравнения с расчетным процессом, по возможности, без интерполяции между соседними точками.

Оцифровка осциллограмм проводилась с использованием программы Graph Digitizer [ftp://desse.phys.spbu.ru/pub/incoming/GD18M.ZIP], распространяемой свободно („freeware”).

Первым шагом для оцифровки указанным способом является сканирование осциллограммы с целью получения файла графического образа. Сканирование проводилось при помощи планшетного сканера Epson GT-5000 в режиме 256 оттенков серого цвета с разрешением 300 точек на дюйм. Такой режим был выбран исходя из оптимального сочетания времени сканирования, размеров конечного файла и различимости значимой информации.

Программа Graph Digitizer позволяет оцифровывать графические файлы, представленные в градациях серого цвета путем указания цвета линии. Однако, графики всех процессов имеют одинаковую глубину черного цвета. Кроме этого, такую же глубину имеют вертикальные линии, соответствующие временным отсечкам, нулевые линии неменяющихся в данный момент времени параметров и пятно засветки фотобумаги. Следовательно, использование полученного изобра-

жения в программе Graph Digitizer без изменений невозможно или приведет к полной потере значимой информации. В связи с этим *вторым шагом* подготовки графического материала к оцифровке является выделение значимой информации. Это выделение можно провести двумя способами:

- очисткой изображения от всех других изображений, кроме подлежащего оцифровке;
- изменением цвета линии процесса.

Первый вариант неприемлем ввиду его значительной трудоемкости, так как, несмотря на наличие нескольких записанных процессов на одной осциллограмме, приходится готовить файл изображения для каждого процесса в отдельности.

Второй вариант достаточно прост в реализации с учетом возможностей современных графических редакторов, которые позволяют в отдельном слое нанести на изображение линию необходимого цвета. Несмотря на то, что на этом этапе действия оператора ПК аналогичны действиям оператора устройства Ф-018 [5], такой подход имеет значительные преимущества, связанные с простотой отмены ошибочных действий и возможностью детального рассмотрения процесса с целью его более точного отображения.

Таким образом, на втором шаге выделяется значимая информация путем изменения цвета линий осциллограммы и ограничивается область оцифровки.

Очевидно, что после указанной подготовительной работы оригинальное изображение осциллограммы является избыточной информацией. Поэтому на *третьем шаге* необходимые для оцифровки кривые выделяются в отдельное изображение (рис. 1).

Четвертым шагом является передача графического образа в программу Graph Digitizer и выбор настроек для оцифровки в автоматическом режиме (рис. 2). Результатом работы программы является таблица координат точек, расположенных на кривой с заданным шагом.

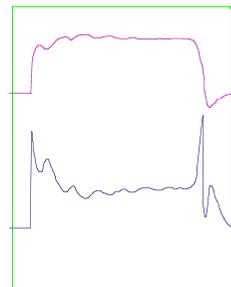


Рис. 1 – Подготовленное к автоматической оцифровке изображение осциллограммы

В автоматическом режиме программа самостоятельно выбирает в пределах графического образа линии место для указания точки на кривой, расстояние до которой измеряется от нулевой линии. В течение всего процесса оцифровки положение таких точек в вертикальном направлении относительно краев линии, отображающей процесс, не меняется. Поэтому в процессе оцифровки различных осциллограмм имеет место систематическая ошибка, которая легко ликвидируется повторной коррекцией полученных численных значений. Указанная коррекция проводилась путем вычисления нового масштабного коэффициента процессов с учетом их истинных замеренных значений.

Как было указано выше, в процессе эксперимента замерялись сила тока и напряжение на приводном электродвигателе, замеров ускорений не проводилось. С другой стороны, в математическую модель рассматриваемого меха-

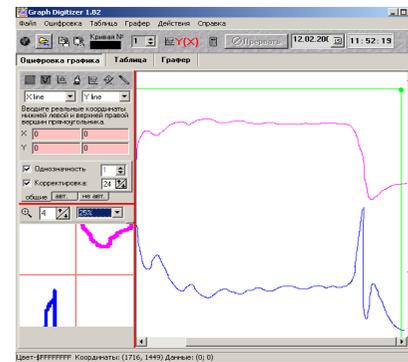


Рис. 2 – Общий вид программы Graph Digitizer с изображением, подлежащим оцифровке

лотком для груза. Механизм совершает движение вниз с грузом и вверх без груза, причем величина рабочего хода зависит от позиции, занимаемой следующим элементом технологической цепочки.

Несмотря на принципиальные отличия в конструкции механических частей, механизмы такого вида при построении математической модели целесообразно привести к одномассовой системе, вращательное движение которой в общем случае описывается уравнением Лагранжа II рода в виде [6].

В связи с этим в качестве параметра, который позволил бы провести сравнение адекватности математической модели и реального механизма, была выбрана мощность. Указанный параметр легко вычислить двумя путями. Перемножив силу тока на напряжение на двигателе, мы сможем оценить изменение потребляемой мощности, анализируя осциллограмму. А произведение вычисленных с помощью описанных моделей момента двигателя на его угловую скорость также даст нам возможность оценить необходимую мощность. График изменения в процессе работы механизма расчетной потребляемой мощности изображен на рис. 3.

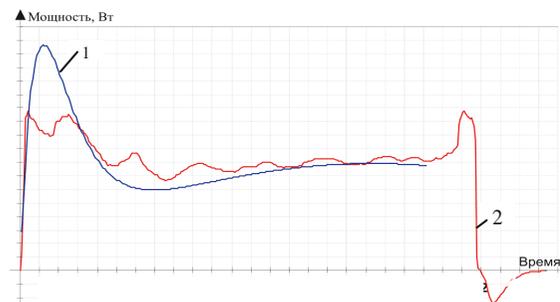


Рис. 3 – Кривые мощности: 1 – расчетная; 2 – экспериментальная

Анализируя совмещенные графики, можно отметить, что кривые мощности в

низма не входила полная математическая модель электродвигателя, позволяющая иметь в качестве выходных параметров силу тока и напряжение. Механические характеристики двигателя были получены от заказчика в виде графиков и аппроксимированы в виде функций зависимости момента от угловой скорости двигателя.

Однако математическая модель исследуемого объекта в качестве выходных параметров имеет параметры движения. Он представляет собой незамкнутый двухзвенник, состоящий из рычага сложной формы, шарнирно соединенного с

целом совпадают друг с другом, что говорит об удовлетворительном совпадении реального и смоделированного процессов.

Для количественной оценки совпадения графиков построим кривую абсолютной погрешности, полученную как разность измеренных и вычисленных значений мощности (рис. 4).

Максимальная разность между исследуемыми кривыми не превышает 38,6%. Математическое ожидание погрешности вычислено по формуле

$$M(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \text{ где } n - \text{число}$$

значений, x_i – величина погрешности.

Значение математического ожидания погрешности составляет 5,92 Вт. Среднее квадратическое отклонение, определяемое формулой [6, 7]

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}, \text{ имеет величину } 86,52 \text{ Вт.}$$

Значительная максимальная разность опытных и расчетных значений мощности, малое значение математического ожидания погрешности, полученная величина среднего квадратического отклонения являются следствием колебательного характера экспериментальной кривой мощности.

Выясним природу указанных колебаний. Для этого сведем в один график значения изменения мощности при выполнении механизмом однотипных операций с разными параметрами.

Выводы. Как видно из рис. 5 и 6 колебательные процессы практически не зависят от параметров траектории, но существенно различаются при движении механизма с грузом или без груза.

Последнее обстоятельство указало на возможную связь характера кривой мощности с упругими колебаниями механизма, частота которых изменяется при изменении его массовых характеристик. Это обусловлено наличием груза при одном варианте

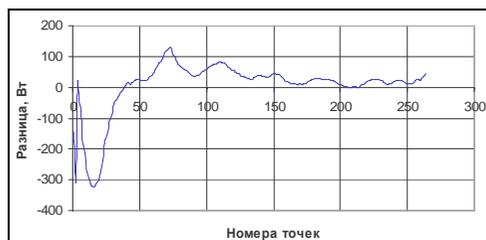


Рис. 4 – Разность между вычисленными и экспериментальными значениями мощности

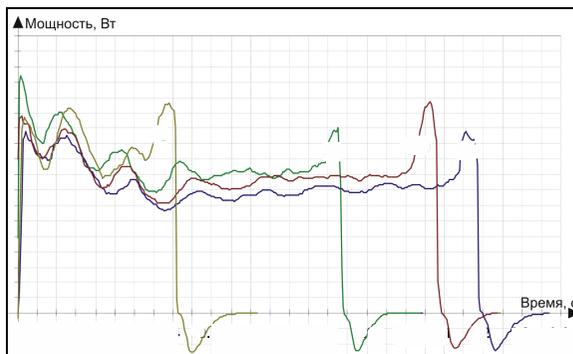


Рис. 5 – Изменение потребляемой мощности при движении механизма с грузом

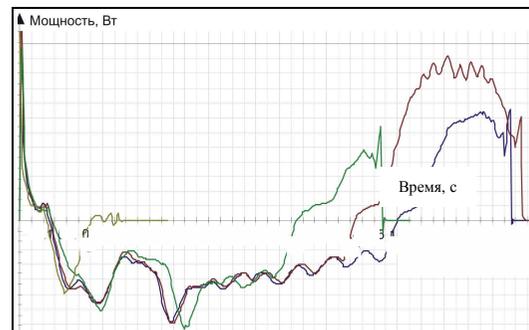


Рис. 6. Изменение потребляемой мощности при движении механизма без груза

работы и его отсутствием при другом. Таким образом, речь идет о свободных колебаниях системы, возникающих вследствие единичных возмущений.

Список литературы: 1. Шевчук В.П. Исследование динамических погрешностей информационно-измерительных каналов в системах автоматического управления по косвенным показателям: Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.11.16 – СПб., 1995. – 31 с. 2. Рубцова Е. В. Разработка способа косвенного определения веса материала в

ковше погрузочно-транспортной машины: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.06 – Новосибирск, 1996. – 24 с. 3. Фатьянов С. О. Математическое и программное обеспечение решения задачи интерпретации результатов косвенных измерений в спектрометрии методами калмановской фильтрации: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.14 – Рязань, 1998. – 16 с. 4. Григорьян Э. Л. Повышение эффективности управления в технических системах на основе косвенной оценки и компенсации неизмеряемых возмущений: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.01 – Ростов-на-Дону, 2000. – 23 с. 5. Сериков В.И., Гусев Ю.Б. Обработка экспериментальных данных рабочего процесса механической системы // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Машиноведение и САПР. – 2005. – №60. – С.131-136. 6. Бать М. И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах: учеб. пособие для вузов. Т. 2: Динамика. – М: Наука. – 1968. – 624 с. 7. Грановский В.А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1990. – 287с.

Поступила в редколлегию 16.10.2012

УДК 539.3

Н.Б. СКРИПЧЕНКО, асп. каф. ТММ и САПР НТУ «ХПИ»

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ ДАВЛЕНИЙ ПРИ КОНТАКТЕ ТЕЛ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ ПО ПОВЕРХНОСТЯМ БЛИЗКОЙ ФОРМЫ

Для випадку контакту тіл з близькими радіусами кривизни уздовж одного з головних напрямків запропонована загальна постановка контактної задачі. Функції розподілу контактної тиску, максимальний контактний тиск, а також довжини напівосей контактної плями отримані аналітичними і числовими методами.

Ключові слова: контактна взаємодія, модель Герца, метод скінченних елементів, контактні площадки, контакт тіл близької форми

Для случая контакта тел с близкими радиусами кривизны вдоль одного из главных направлений предложена общая постановка контактной задачи. Функции распределения контактного давления,

© Н.Б. Скрипченко