

- 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., Майкевич 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.

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-

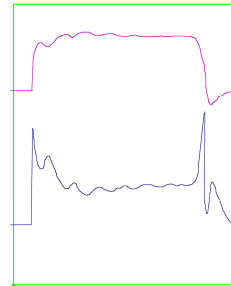


Рис. 1 – Подготовленное к автоматической оцифровке изображение осциллограммы

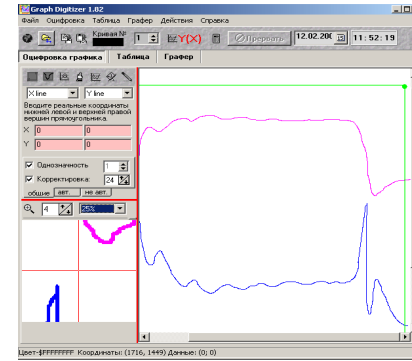


Рис. 2 – Общий вид программы Graph Digitizer с изображением, подлежащим оцифровке

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.

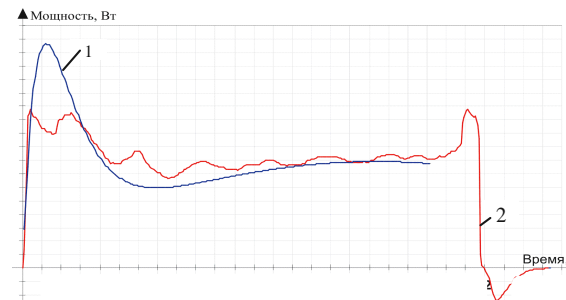


Рис. 3 – Кривые мощности: 1 – расчетная; 2 – экспериментальная

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

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.

Анализируя совмещенные графики, можно отметить, что кривые мощности в

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

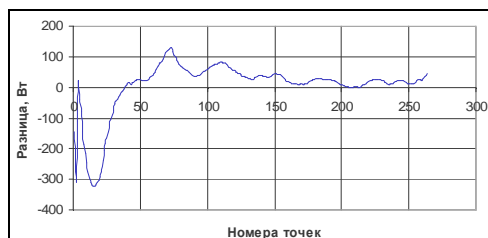


Рис. 4 – Разность между вычисленными и экспериментальными значениями мощности

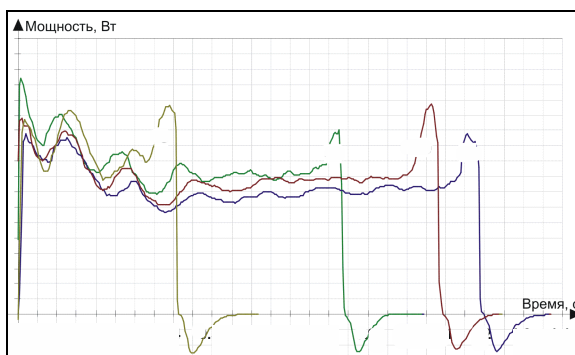


Рис. 5 – Изменение потребляемой мощности при движении механизма с грузом

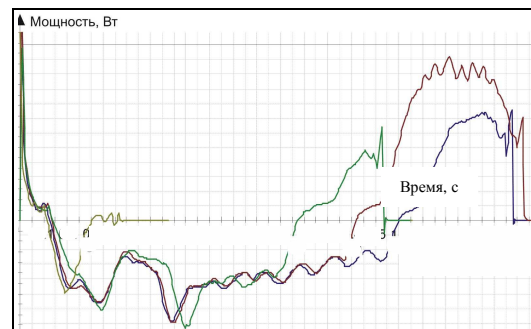


Рис. 6. Изменение потребляемой мощности при движении механизма без груза

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 втузов. 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