

В. И. СЕРИКОВ, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДЫ И ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ МЕХАНИЗМЕ

В статье описан математический аппарат, использованный для анализа параметров рабочего цикла комплекса механизмов. Сопоставление прогнозируемых параметров и полученных экспериментальным путем показало высокую достоверность полученных результатов и эквидистантность кривых, характеризующих расчетные и экспериментальные параметры. Однако на отдельных участках наблюдалось существенное отличие значений. Проведенная работа позволила выявить природу и оценить причину отличий.

Ключевые слова: механизм, кинематическая цепь, анализ кинематики, анализ динамики, двухзвенник, конструкционные параметры, эксперимент, косвенное измерение, моделирование сложных механических систем

Постановка проблемы. В процессе создания нового комплекса механизмов для перемещения грузов по заранее заданной траектории были проведены мероприятия по улучшению характеристик работы этого комплекса. К таким характеристикам согласно техническому заданию были отнесены минимальное время одного рабочего цикла как в прямом (с доставляемым грузом), так и в обратном (возвращение на исходную позицию) направлении. Был изготовлен комплекс механизмов, в котором были учтены рекомендации для достижения необходимых характеристик. Проведенные эксперименты в достаточной степени подтвердили прогнозируемые значения параметров работы. Однако, фиксируемые в ходе эксперимента параметры в некоторые моменты времени значительно отличались от прогнозируемых. В связи с этим возникла необходимость в исследовании источника и природы указанных отличий.

Основной материал. Многие задачи, связанные с предварительной оценкой тех или иных параметров отдельных узлов и агрегатов, проектирование которых невозможно без анализа динамики их поведения, имеют довольно разработанный математический аппарат, который может быть формализован и представлен в виде алгоритма для решения при помощи ЭВМ.

К таким задачам можно отнести разработку механизмов для перемещения стандартных грузов.

Для исследования динамики указанных объектов применяется единый подход, основанный на использовании унифицированной математической модели [3]. Несмотря на принципиальные отличия в конструкции механических частей, все механизмы приводятся к одномассовой системе [4],

движение которой в общем случае описывается известным уравнением Лагранжа II рода в виде.

$$J\ddot{\varphi} + \frac{1}{2} \frac{dJ}{d\varphi} \dot{\varphi}^2 = M_{\delta} + M_T - M_{тр} \quad (1)$$

где $J=J(\varphi)$ – приведенный момент инерции системы, включающий моменты инерции собственно механизма, редукторов и приводных электродвигателей; φ – угол поворота звена приведения; M_{δ} – приложенный к звену приведения движущий момент; M_T – момент, обусловленный действием сил тяжести перемещаемых грузов и звеньев механизма; $M_{тр}$ – момент сил трения, действующих в сопряжениях деталей механизма.

Момент инерции I может быть переменным или постоянным в зависимости от кинематической схемы механизма. В последнем случае второе слагаемое левой части уравнения (1) отсутствует. Момент M_T может быть положительным, отрицательным или равным нулю. Количество приводных двигателей и редукторов зависит от конструкции механизма и его нагрузки. В качестве звеньев приведения указанных механизмов могут выбираться различные элементы кинематической цепи.

В процессе работы над новой конструкцией был проведен ряд экспериментов. На вал электродвигателя, приводящий в движение механизм, был прикреплен индукционный датчик частоты, напряжение через дополнительное сопротивление подавалось на шлейф осциллографа, ток – через шунт.

Осциллограмма, на которой зафиксированы сила тока и напряжение приводного двигателя механизма изображена на рис.1. Расстояние между вертикальными линиями соответствуют 0,1 секунды.

Анализируя осциллограмму, можно отметить, что процесс старта двигателя характеризуется значительным скачком силы тока (зона I рис.1). Затем сила тока несколько снижается, что обусловлено траекторией исполнительного органа (зона II рис.1). В зоне III вновь наблюдается всплеск, который фактически связан с торможением двигателя в момент постановки на стопор. То, что обороты двигателя значительно снизились можно наблюдать по кривой 3 рис.1 в этой зоне.

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

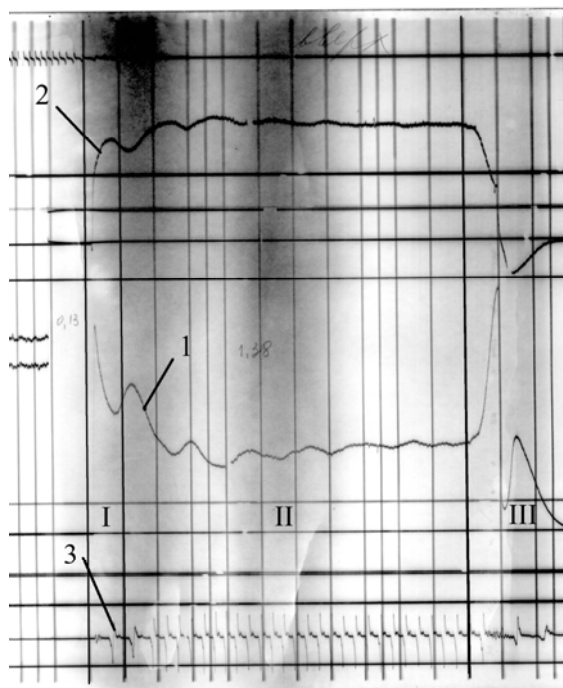


Рис.1 – Осциллограмма.: 1 – сила тока; 2 – напряжение; 3 – обороты двигателя; I – момент старта; II – рабочий ход; III – постановка на стопор.

Проанализируем степень достоверности расчетной модели в области характеристики происходящих процессов. Необходимо отметить, что в нашем случае мощность является параметром, который получен в результате перемножения отдельных параметров (напряжения и силы тока, момента и угловой скорости), и, следовательно, позволяет комплексно проанализировать входящие в него параметры. Поэтому, в случае, если характер экспериментальной и расчетной кривой, иллюстрирующих изменение во времени потребляемой мощности, будет совпадать, то можно однозначно утверждать, что остальные параметры, входящие в произведение, совпадают тем более.

Для дальнейшего анализа расчетная и экспериментальная кривые совмещаются на одном графике

Результат сравнения вычисленных значений и экспериментальных приведен на рис.2.

Анализируя совмещенные графики, можно отметить следующее:

- Кривые мощности в целом совпадают друг с другом (количественная оценка дается ниже), что говорит об удовлетворительном совпадении реального и смоделированного процессов.

2. Расчетная кривая отличается от экспериментальной на 12-15%, что является достаточно достоверным совпадением для упрощенной модели. Кроме этого, необходимо отметить, что в процессе проведения эксперимента

было обнаружено, что характеристики приводных электродвигателей отличаются. В связи с чем можно ожидать повышения точности расчетов при использовании более достоверной характеристики электродвигателя

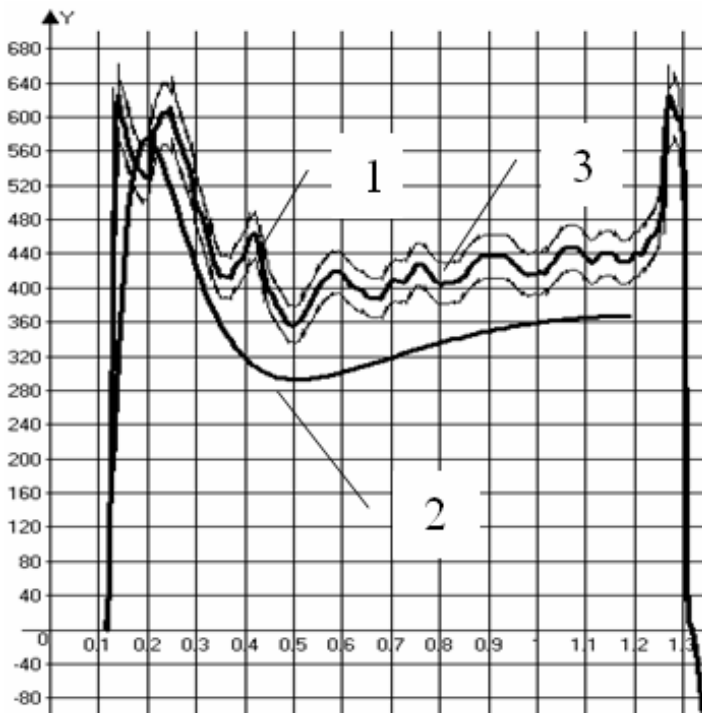


Рис.2 – Сравнение экспериментальной (1) и расчетной (2) кривых с учетом доверительного

3. Расчетное время работы механизма ниже экспериментального (1,05 с по расчетам против 1,38 с по осциллограмме). Расхождение объясняется тем, что расчет выполнен на основании математической модели, которая не учитывает наличие дополнительных устройств (стопоры, защелки и пр.).

Для количественной оценки совпадения графиков построим кривую абсолютной погрешности, полученную как разность измеренных и вычисленных значений мощности (рис.3).

Максимальная разность между исследуемыми кривыми превышает 300 Вт (38,6%).

Математическое ожидание погрешности вычислено по формуле:

$$M(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2)$$

где n – число значений,

x_i – величина погрешности.

Значение математического ожидания погрешности составляет 5,92 Вт. Среднее квадратическое отклонение определяется формулой

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x)^2} \quad (3)$$

и имеет величину 86,52 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.

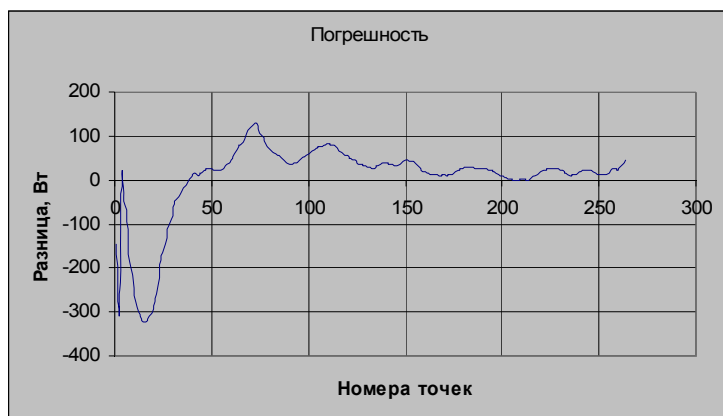


Рис. 3 – Разность между вычисленными и экспериментальными значениями мощности

Выясним природу указанных колебаний. Для этого сведем в один график значения изменения мощности при движении механизма с грузом (рис.4) и без (рис.5) при разных начальных положениях. Как видно из рис. 4 и 5, колебательные процессы практически не зависят от начального положения, но существенно различаются при движении механизма с

грузом или без.

Анализ указанных графиков позволил свести в таблицу 1 периоды колебаний.

Таблица 1 – Периоды колебаний механизма

Номер серии	Период	Номер серии	Период
При движении с грузом		При движении без груза	
1	0,135	5	0,15
2	0,14	6	0,158
3	0,14	7	0,152
4	0,148	8	0,15
Среднее	0,141	Среднее	0,153

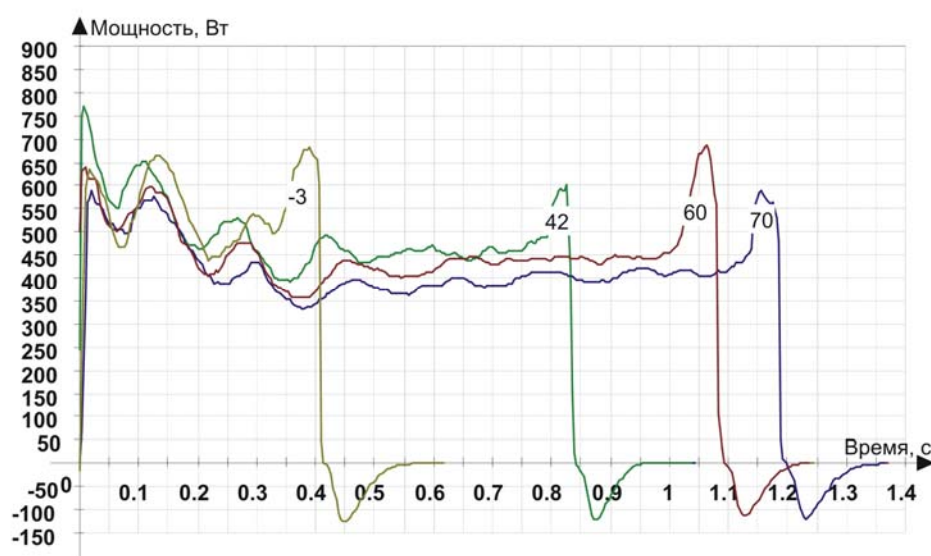


Рис. 4 – Изменение потребляемой мощности при движении механизма с грузом

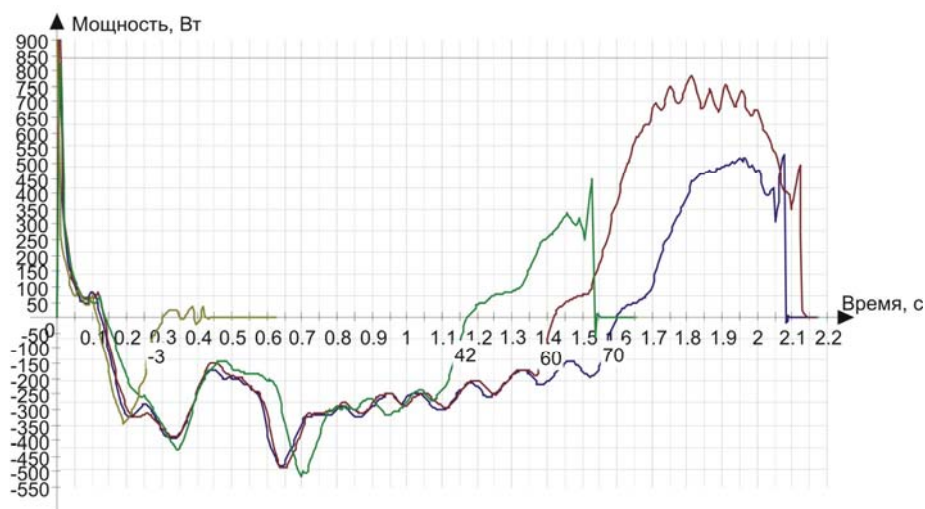


Рис. 5 – Изменение потребляемой мощности при движении механизма без груза

Последнее обстоятельство указало на возможную связь характера кривой мощности с упругими колебаниями механизма, частота которых изменяется при изменении его массовых характеристик. Таким образом, речь идет о свободных колебаниях системы, возникающих вследствие единичных возмущений.

Вывод. Найденные графически и численно периоды колебаний действительно практически одинаковы для разных серий экспериментов с разными начальными условиями, но одинаковыми массово-инерционными и жесткостными параметрами механизма. Это обстоятельство подтверждает выдвинутое предположение о природе расхождений экспериментальных и расчетных данных на отдельных временных участках исследуемого процесса. Представляет интерес дальнейшее исследование процесса с учетом жесткостных характеристик механизма.

Список литературы: 1. 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. 2. Грановский В. А., Синая Т. Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. - Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1990. - 287с. 3. Грановский В. А., Синая Т. Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. - Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1990. - 287с. 4. Белоконев И. М. Теория механизмов и машин. Методы автоматического проектирования. - К.: Выща школа, 1990. - 208 с. 5. Медведев Н. Г., Абляскин О. И., Сериков В. И. Повышение быстродействия механизмов для перемещения стандартных грузов.// Материалы междунар. науч.-техн. конф. "MicroCAD'97". 12-14 мая 1997 г. Харьков: ХГПУ. 1996. Ч.3. С. 344. 7. Ткачук Н. А., Гриценко Г. Д., Глущенко Э. В., Ткачук А. В. Программно-аппаратный комплекс для анализа и синтеза моделей элементов сложных механических систем // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Тематичний випуск: "Динаміка і міцність машин". Збірник наукових праць НТУ "ХПІ". - Харків: НТУ "ХПІ", 2004.- № 31. - с.154-165. 8. Ткачук Н. А., Пономарев Е. П., Медведева А. В., Миргородский Ю. Я., Малакей А. Н., Гриценко Г. Д. Определение рациональных параметров элементов механических систем // Механіка та машинобудування. - 2001.- №1,2. - С.308-314. 9. Веретельник Ю. В., Миргородский Ю. Я.,

Пелешко Е. В., Ткачук Н. А. Параметрические модели элементов сложных систем как основа построения специализированных расчетных систем // Механіка та машинобудування. – 2003. – №1. – Том 2. – С.3-7. **11.** Тропина А. А., Марасов С. Н. Кинематический анализ манипуляционной системы робота // Автомобильный транспорт . - 2008. - Вип. 22. - С. 154-158.

Bibliography (transliterated): **1.** Bat' M. I., Dzhanelidze G. Ju., Kel'zon A. S. Teoreticheskaja mehanika v primerah i zadachah: ucheb. posobie dlja vtuzov. T. 2: Dinamika. - Moscow: Nauka. - 1968. **2.** Granovskij V. A., Siraja T. N. Metody obrabotki jeksperimental'nyh dannyh pri izme-renijah. – L.: Jenergoatomizdat, Leningr. otd-nie, 1990. **3.** Granovskij V. A., Siraja T. N. Metody obrabotki jeksperimen-tal'nyh dannyh pri izmerenijah . – Leningrad: Jenergoatomizdat, Le-ningr. otd-nie, 1990. **4.** Belokonev I. M. Teorija meha-nizmov i mashin. Metody avtomaticheskogo proektirovanija. - Kiev: Vyshha shkola, 1990. **5.** Medvedev N. G., Abljaskin O. I., Serikov V. I. Povysenie bystrodejstvija mehanizmov dlja pe-remeshhenija standartnyh грузов. Materialy mezhdunar. nauch.-tehn. konf. "MicroCAD'97". 12-14 maja 1997 g. Har'kov: HGPU. 1996. Ch.3. **7.** Tkachuk N. A., Gricenko G. D., Glushhenko Je. V., Tkachuk A. V. Programmno-apparatnyj kompleks dlja analiza i sinteza modelej jelementov slozhnyh mehanicheskikh sistem. Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu "HPI". Tematich-nij vipusk: "Dinamika i micnist' mashin". Zbirnik naukovih prac' NTU "HPI". – Harkiv: NTU "HPI", 2004.– № 31. **8.** Tkachuk N. A., Ponomarev E. P., Medvedeva A. V., Mirgo-rodskij Ju. Ja., Malakej A. N., Gricenko G. D. Opredelenie ra-cional'nyh parametrov jelementov mehanicheskikh sistem // Mehanika ta mashinobuduvannja. – 2001.– №1,2. **9.** Veretel'nik Ju. V., Mirgorodskij Ju. Ja., Peleshko E. V., Tkachuk N. A. Parametricheskie modeli jelementov slozhnyh sistem kak osnova postroenija specializirovannyh raschetnyh sistem. Mehanika ta mashinobuduvannja. – 2003.– №1. – Том 2. **11.** Tropina A. A., Marasov S. N. Kinematicheskij analiz manipulja-cionnoj sistemy robota. Avtomobil'nyj transport . - 2008. - Vip. 22.

Поступила (received) 15.05.2014