

большие значения α . Например, отношение R_2 для ядерной функции (11a) при $k = 9$ равно 1,042, а для (11г) – 2,157. При этом соответствующие им значения α равны 1,015 (11a) и 1,32 (11г).

На основе анализа асимптотических свойств многомерной непараметрической регрессии определена количественная зависимость ее аппроксимационных свойств от вида ядерной функции и особенностей статистических данных. В условиях их достаточно большого объема вид ядерной функции оказывает значимое влияние на среднеквадратическое отклонение непараметрической регрессии от условного математического ожидания, которое возрастает с увеличением размерности аргументов восстанавливаемой зависимости. Данная закономерность особо проявляется с увеличением степени отличия ядерной функции от оптимального ядра Епанечникова.

Библиографические ссылки

1. Parzen E. On Estimation of a Probability Density Function and Mode // *Annu. Math. Statistic*. 1962. Vol. 33. P. 1065–1076.
2. Епанечников В. А. Непараметрическая оценка многомерной плотности вероятности // *Теория вероятностей и ее применения*. 1969. Т. 14, вып. 1. С. 156–161.
3. Надарая Э. А. Замечания о непараметрических оценках плотности вероятности и кривой регрессии // *Теория вероятностей и ее применения*. 1970. Т. 15, вып. 1. С. 139–142.
4. Лапко В. А., Бадмаев Р. В. Синтез и анализ нелинейных непараметрических коллективов решающих правил в задачах восстановления стохастических зависимостей, основанных на последовательных процедурах формирования решений // *Вестник КрасГАУ*. 2006. № 10. С. 53–62.
5. Лапко А. В., Лапко В. А., Варочкин С. С. Коллектив непараметрических регрессий, основанных на принципе декомпозиции обучающей выборки // *Вестник СибГАУ*. 2009. Вып. 1 (22). Ч. 2. С. 38–40.
6. Лапко А. В., Лапко В. А., Суханов А. В. Непараметрические восстановления стохастических зависимостей в условиях пропуска данных // *Проблемы автоматизации и управления : науч.-техн. журн. Нац. акад. наук Кыргыз. Республики*. 2005. С. 74–81.
7. Лапко В. А. Непараметрические коллективы решающих правил. Новосибирск : Наука, 2002.
8. Обучающиеся системы обработки информации и принятия решений / А. В. Лапко, С. В. Ченцов, С. И. Крохов, Л. А. Фельдман. Новосибирск : Наука, 1996.

A. V. Lapko, V. A. Lapko

THE ANALYSIS OF ASYMPTOTIC PROPERTIES OF MULTIDIMENSIONAL NONPARAMETRIC REGRESSION

Asymptotic properties of multidimensional nonparametric regression, synthesis of which is grounded on estimations of a probability density of Rosenblatt-Parzen, are explored. Their quantitative dependence on flavor of kernel function and features of initial statistical data is determined.

Keywords: nonparametric regression, restoring of dependences, asymptotic properties, kernel function.

© Лапко А. В., Лапко В. А., 2012

УДК 631.331

Г. Н. Лимаренко, М. В. Шевчугов, А. Н. Щепин

К РАСЧЕТУ ДИНАМИКИ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ВЫХОДНОГО ЗВЕНА В ВОЛНОВОЙ РЕЕЧНОЙ ПЕРЕДАЧЕ

Приведены результаты теоретических исследований и методов расчета в поступательном приводе с волновой реечной передачей неравномерности установившегося движения его выходного звена – роликовой рейки, взаимодействующей с многокулачковым механизмом.

Ключевые слова: толкатель, диаграмма, фазовый сдвиг, приведенный момент инерции, динамическая ошибка скорости.

Волновая реечная передача (ВРП) с роликовой рейкой [1] основана на взаимодействии многокулачкового вала с толкателями, контактирующими с выходным звеном – рейкой на линейных участках диаграмм их относительного движения. Количество толкателей в механизме преобразования движения выбирается

таким, чтобы в зацеплении с роликами рейки одновременно находилось не менее двух толкателей. Это теоретически обеспечивает линейность функции положения выходного звена, малые изменения характеристики приведенной жесткости и равномерное распределение движущих сил по промежуточным звеньям.

Вместе с тем известно, что работа кулачковых механизмов сопряжена с возникновением переменных ускорений на участках разгона и выбега при удалении и приближении толкателей. Переменные ускорения создают переменные силы инерции и динамическая система привода становится нелинейной. Одновременно с переменными ускорениями в системе возникают переменные аналоги скоростей центров масс звеньев, что вызывает переменность работы сил сопротивлений при их движении в механизме. В приводах с подобными механизмами возникает внутренняя виброактивность, снижающая их динамическое качество.

Динамический анализ привода при взаимодействии с механической системой, имеющей переменные параметры (содержащей шарнирно-рычажные и кулачковые механизмы), методом последовательного приближения разработан М. З. Коловским и подробно освещен в научной и учебной литературе [2; 3]. Волновая речная передача является своеобразным многокулачковым механизмом, в котором исполнительный орган – рейка – перемещается с постоянной скоростью подобно гайке в винтовом механизме. Приводной вал содержит Z кулачков, установленных с фазовым разворотом друг относительно друга на угол $\varphi = 2\pi / Z$. Промежуточные приводные звенья – толкатели – перемещаются в корпусе механизма в соответствии с диаграммами (рис. 1) [1], взаимодействуя с роликами рейки на ее линейных участках, с фазовым сдвигом. Перемещение толкателей на остальных участках диаграммы происходит без взаимодействия с роликами рейки.

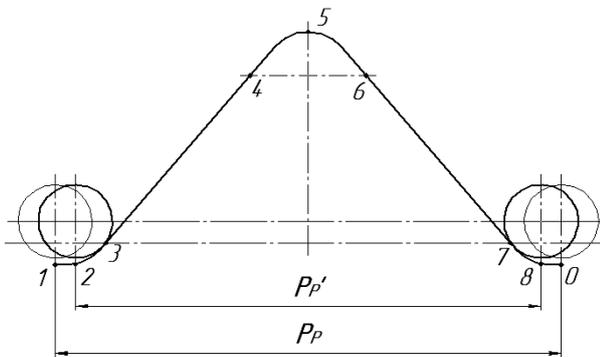


Рис. 1. Диаграмма относительного движения толкателей с участками:

1–2 – нижнего выстоя; 2–3 – разгона; 3–4 – линейного движения; 4–5 – выбега; P_p, P'_p – шаг рейки и расчетный шаг. Участки приближения толкателя симметричны участкам его удаления

Рассмотрим принципиальную схему ВРП (рис. 2). За один оборот кулачкового вала толкатели последовательно войдут в контакт с роликами рейки и каждый переместит ее на величину $\Delta P = P_p / Z$. Приводной управляемый электродвигатель соединен непосредственно с кулачковым валом через муфту.

Исследование установившегося движения агрегата выполним, воспользовавшись статической характери-

стикой двигателя. В этом случае задача сводится к отысканию периодического решения уравнения

$$J_{пр}(q) \ddot{q} + \frac{0,5 \cdot J_{пр}(q)}{\partial q} (\dot{q})^2 = Q_{д.м}(u, q) + T_c(q, \dot{q}), \quad (1)$$

где $J_{пр}(q)$ – переменный приведенный момент инерции машинного агрегата; $Q_{д.м}(u, q)$ – идеальная характеристика движущего момента, зависящая от напряжения u и скорости ротора q ; $T_c(q, \dot{q})$ – приведенный момент активных сил сопротивления.

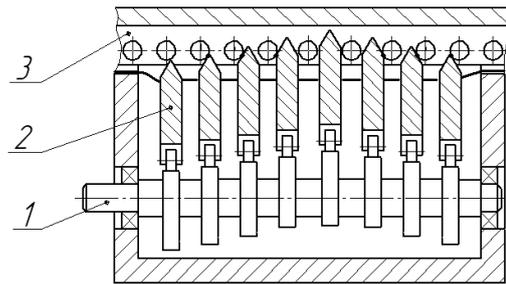


Рис. 2. Схема взаимодействия в ВРП кинематических элементов:

1 – вал кулачковый; 2 – толкатель с клиньями, перемещающийся в направляющих корпуса; 3 – рейка с вращающимися роликами (цевками)

Приведенный момент инерции агрегата определим по зависимости

$$J_{пр}(q) = J_d + J_{к.в} + m_p V_{с.р}^2 \cdot 10^{-6} + m_t \cdot 10^{-6} \sum_{k=1}^Z V_{с.т}^2, \quad (2)$$

где $J_d, J_{к.в}$ – моменты инерции ротора двигателя и кулачкового вала; m_p, m_t – массы рабочего органа и толкателя; $V_{с.р}, V_{с.т}$ – аналоги скорости рейки с рабочим органом и скорости толкателя, мм/рад.

При анализе динамики ВРП следует учитывать две ее особенности.

Первая особенность заключается в симметричности значений аналогов скорости толкателя на участках удаления и приближения за один оборот кулачкового вала (рис. 3).

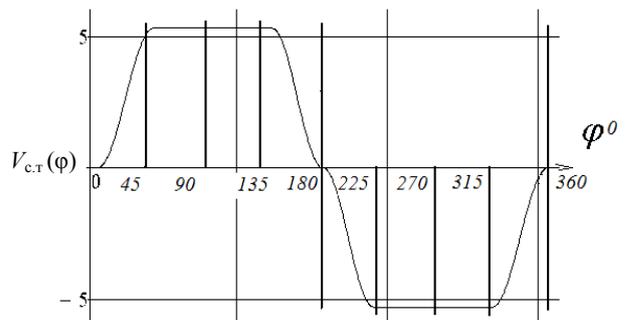


Рис. 3. Аналог скорости толкателя

В соответствии с этой особенностью, а также учитывая возведение в квадрат аналога скорости $V_{c.t}$ в зависимости (2), последнее слагаемое можно записать в виде укороченной суммы

$$J_{np.t} = 2m_t \cdot 10^{-6} \sum_{k=1}^{Z/2} V_{c.t}^2. \quad (3)$$

Второй особенностью ВРП является циклическое изменение инерционных характеристик механизма, связанное со входом в зацепление очередного толкателя. Аналоги скорости соседних зацепляющихся толкателей сдвинуты по фазе. На рис. 3 утолщенными линиями показаны начальные положения аналогов скоростей толкателей, сдвинутых по фазе относительно первого толкателя, находящегося в начальном положении. Это позволяет при расчете приведенного момента инерции толкателей по зависимости (3) рассматривать значения аналогов их скоростей лишь на угловом участке поворота кулачкового вала $\varphi_p = 2\pi/Z$, т. е. до момента входа в зацепление очередного толкателя. В связи с этим привод с ВРП можно рассматривать как передаточный механизм, в котором используется мультипликатор с передаточным отношением $i = Z/1$: за один оборот вала электродвигателя рабочий вал с кулачковым механизмом как бы вращается в Z раз быстрее. При этом приведенный момент инерции рейки с рабочим органом является величиной постоянной, так как рейка движется с постоянной скоростью, взаимодействуя с толкателями с коэффициентом перекрытия $\varepsilon_{\alpha\beta} = 2,33$. Аналог скорости рейки $V_{c.p}$ связан с аналогом скорости толкателя $V_{c.t}$ на линейном участке его движения зависимостью

$$V_{c.p} = V_{c.t} \cdot \operatorname{tg}(\alpha_p), \quad (4)$$

где α_p – угол клина на толкателе. Для ВРП приведенный момент активных сил сопротивления $T_c(q, q)$ в зависимости (1) также следует рассматривать как величину постоянную.

Рассмотрим пример расчета неравномерности движения агрегата с ВРП, у которого число толкателей $Z = 8$, шаг роликов рейки $P_p = 20$ мм. ВРП обеспечивает тяговое усилие $1\ 300$ Н, скорость перемещения рейки при номинальной частоте вращения ротора электродвигателя $n_n = 1\ 000$ мин⁻¹ – $0,33$ м/с. Масса перемещаемого рабочего органа $m_p = 100$ кг. Привод-

ной электродвигатель – ДК1-5,2-1ХХ-АТ с параметрами: мощность $W = 0,54$ кВт, напряжение $U = 110$ В, ток при номинальном режиме $J_n = 6,5$ А, ток холостого хода $J_x = 0,8$ А, сопротивление обмоток якоря $R = 2,1$ Ом, момент инерции ротора $J_d = 4,16E - 3$ кгм², номинальный крутящий момент $T_n = 5,2$ Нм. Конструктивные параметры ВРП: полный ход толкателей $h_t = 12,06$ мм, ход толкателей при взаимодействии с роликами рейки (активный ход) $h_a = 8,32$ мм, диаметр роликов $d_p = 5,5$ мм, масса толкателя $m_t = 0,093$ кг, момент инерции кулачкового вала $J_{к.в} = 1,6 \cdot 10^{-4}$ кгм².

Расчетные значения аналогов скоростей толкателей для десяти положений на участке поворота кулачкового вала $\varphi_{расч} = 2\pi/Z = 45^\circ$ приведены в табл. 1.

Значения приведенного момента инерции толкателей, рассчитанные по выражению (3), приведены в табл. 2

Значение приведенного момента инерции рабочего органа с рейкой, кгм²:

$$J_{np.p}(q) = m_p V_{c.p}^2 \cdot 10^{-6} = 0,001\ 013.$$

Суммарный приведенный момент инерции привода машинного агрегата с ВРП представим в виде ряда Фурье, принимая за условный период время поворота кулачкового вала на угол $\varphi_{расч}$:

$$J_{np}(q) = J_0 + \sum_{n=1}^{10} J_{np} \left(\frac{2\pi n}{10} \right), \quad (5)$$

где J_0 – постоянная составляющая; J_{np}^{\approx} – переменная составляющая, определенная как сумма двух гармоник (J_{ic} – гармоника по косинусу; J_{is} – гармоника по синусу), вычисленных по формулам

$$J_{1c} = \frac{1}{5} \sum_{n=1}^{10} J_{np}^{\approx} \left(\frac{2\pi n}{5} \right) \cos\left(\frac{\pi n}{5}\right);$$

$$J_{1s} = \frac{1}{5} \sum_{n=1}^{10} J_{np}^{\approx} \left(\frac{2\pi n}{5} \right) \sin\left(\frac{\pi n}{5}\right);$$

$$J_{2c} = \frac{1}{5} \sum_{n=1}^{10} J_{np}^{\approx} \left(\frac{2\pi n}{5} \right) \cos\left(\frac{2\pi n}{5}\right);$$

$$J_{2s} = \frac{1}{5} \sum_{n=1}^{10} J_{np}^{\approx} \left(\frac{2\pi n}{5} \right) \sin\left(\frac{2\pi n}{5}\right).$$

Построим при помощи MathCad графики рассчитанных J_{np}^{\approx} и $\partial J_{np}(q)/\partial q$ (рис. 4).

Таблица 1

Аналоги скоростей толкателей, мм/рад

№ толкателя	Угловые положения толкателей									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0,145	0,564	1,212	2,018	2,892	3,739	4,466	4,992
2	5,261	5,297	5,297	5,297	5,297	5,297	5,297	5,297	5,297	5,297
3	5,297	5,297	5,297	5,297	5,297	5,297	5,297	5,297	5,297	5,297
4	5,297	5,297	5,234	4,871	4,212	3,345	2,385	1,460	0,182	0

Суммарные приведенные моменты инерции толкателей, кгм²

$J_{пр.т}/10^6$	15,5	15,6	15,5	14,9	13,8	13,1	13,0	13,4	14,2	15,0
-----------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

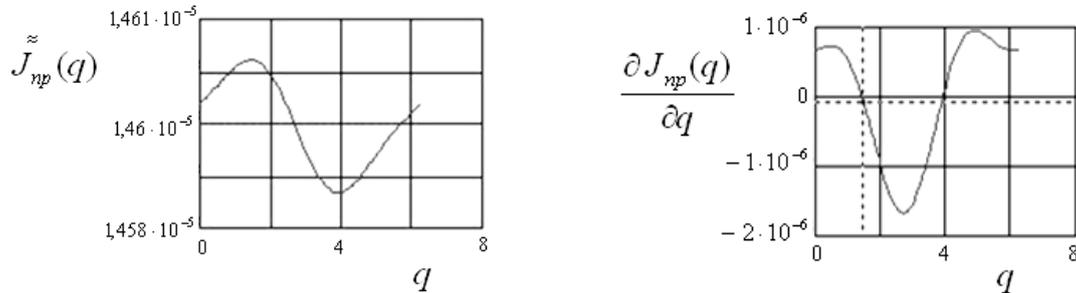


Рис. 4. Характеристики приведенного момента инерции

Уравнение движения машинного агрегата, учитывая постоянство приведенного момента активных сил сопротивления $T_c(q, \dot{q})$ в зависимости (1), запишем в форме

$$J_0 \ddot{\psi} - T_d(q) - T_c = -\tilde{J}_{пр}(q) \cdot \ddot{q} - \frac{0,5 \partial J_{пр}(q)}{\partial q} (\dot{q})^2, \quad (6)$$

где $\ddot{\psi}$ – динамическая ошибка углового положения ротора; $T_d(q)$ – движущий момент, Нм.

Представим движущий момент в виде статической характеристики, рассчитанной по данным двигателя:

$$T_d(q) = \frac{K_1}{R} (U - K_2 \cdot 30 \cdot \omega / \pi) = 40,875 - 0,3405 \cdot \omega \quad (7)$$

$$T_c = F_{тяг} \cdot V_{с.т} \cdot \text{tg}(\alpha_p) + F_{тр} \cdot V_{с.т} = 5,297 \cdot 10^{-3} (1300 \cdot \text{tg}(\alpha_p) + 175) = 5,06,$$

где T_c – приведенный момент сил сопротивления на рабочем органе и ведущих толкателях, Нм; $F_{тяг}$ – тяговое усилие на рейке, Н; $F_{с.т}$ – аналог скорости толкателя; $F_{тр} = 175$ Н – сила трения на ведущих толкателях; $K_1 = 0,78$, $K_2 = 0,096$ – конструктивные параметры; коэффициент при угловой скорости ω представляет собой крутизну $s = 0,3405$ статической характеристики двигателя.

Из уравнения (6), полагая в нулевом приближении его правую часть равной нулю, а также что $\psi = 0$ и знаки момента сил сопротивления и движущего момента противоположны, определим среднюю скорость вращения ротора двигателя, c^{-1} :

$$\omega_{ср} = \frac{(40,875 - 5,06)}{0,4305} = 105,18.$$

Динамическую ошибку $|\psi| \ll \omega_{ср}$ определим из (6), представив его правую часть в виде возму-

щающего момента $L(\omega_{ср}, t)$ с использованием коэффициентов разложения в ряд Фурье $\tilde{J}_{пр}(q)$:

$$L(\omega t) = \sum_{l=1}^2 [L_l \cos(\omega t + |\alpha_l|)], \quad (8)$$

где l – порядок гармоники; $L_l = \sqrt{L_{lc}^2 + L_{ls}^2}$, $L_{lc} = -0,5 \cdot J_{ls} \omega^2$, $L_{ls} = -0,5 \cdot J_{lc} \omega^2$; J_{lc} , J_{ls} – коэффициенты разложения в ряд Фурье функции $J_{пр}(q)$; $\omega = \omega_{ср} \cdot Z$. Угол α_l определяется с учетом знака

$$\sin \alpha_l = -\frac{L_{ls}}{L_l} \quad \text{и} \quad \cos \alpha_l = -\frac{L_{lc}}{L_l}.$$

Поскольку значения производной $\frac{\partial J_{пр}(q)}{\partial q}$ на три порядка меньше значения коэффициентов разложения в ряд Фурье функции $J_{пр}(q)$ (рис. 4), ее учитывать не будем.

Динамическую ошибку скорости в первом приближении определим по выражению [4]

$$\dot{\psi} = -\sum_{l=1}^2 \frac{[L_l \sin(\omega t + \alpha_l + \delta_l)]}{\sqrt{J_0^2 \omega^2 + s^2}}, \quad (9)$$

$$\text{где } \delta_l = \arctg\left(\frac{s}{J_0 \omega}\right) + \pi.$$

Рассчитанная ошибка скорости вала электродвигателя, а также рабочего органа ВРП представлена графиком на рис. 5.

По максимальному и минимальному значениям ошибки скорости определен коэффициент неравномерности движения рабочего органа ВРП:

$$\delta = \frac{\Psi_{\max} - \Psi_{\min}}{\omega_{ср}} = \frac{0,052 + 0,045}{105,2} \approx 0,001.$$

Итак, предложена методика расчетной оценки неравномерности движения выходного звена волновой реечной передачи – рейки с рабочим органом –

на основе метода расчета динамики машинного агрегата с жесткими звеньями, разработанного М. З. Коловским.

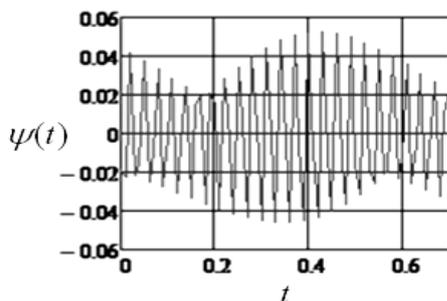


Рис. 5. Динамическая ошибка скорости выходного звена ВРП

В связи с линейной характеристикой скорости рабочего органа в возмущающем воздействии системы привода ВРП приведенный момент активных сил сопротивления $T_c(q, \dot{q})$ в зависимости (1) следует рассматривать как величину постоянную.

В приведенном значении момента инерции передачи следует учитывать его изменение в связи с цикличностью входа в зацепление очередного толкателя, а также частоту возмущающего воздействия от переменного момента инерции – в Z раз превышающую частоту вращения кулачкового вала, где Z – количество кулачковых механизмов в передаче.

Библиографические ссылки

1. Лимаренко Г. Н. Реечная передача, работающая по принципу бегущей волны // Теория машин металлургического и горного оборудования : межвуз. сб. Свердловск, 1985. Вып. 9. С. 94–99.
2. Коловский М. З. Динамика машин. Л. : Машиностроение, 1989.
3. Конструирование машин : справ.-метод. пособие : в 2 т. Т. 1 / К. Ф. Фролов, А. Ф. Крайнев, Г. В. Крейнин и др. ; под общ. ред. К. Ф. Фролова. М. : Машиностроение, 1994.
4. Механика машин : учеб. пособие для вузов / И. И. Вульфсон, М. Л. Ерихов, М. З. Коловский и др. ; под ред. Г. А. Смирнова. М. : Высш. шк., 1996.

G. N. Limarenko, M. V. Shevchugov, A. N. Schepin

TO DYNAMIC ANALYSIS OF STEADY MOTION OF AN OUTPUT ELEMENT IN WAVE RACK AND PINION DRIVE

The authors present the results of theoretical researches and method of analysis in forward drive with harmonic rack-and-pinion drive of irregularity of steady motion of its rolling strip, namely, outlet link, which interacts with multicam mechanism.

Keywords: pusher, diagram, phase shift, equivalent moment of inertia, velocity dynamic error.

© Лимаренко Г. Н., Шевчугов М. В., Щепин А. Н., 2012

УДК 519.6+004.4

А. Г. Матвеев, О. Э. Якубайлик

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МЕТАДААННЫХ ГЕОПОРТАЛА

Анализируются технологии современного веб-программирования, основанные на использовании средств JavaScript/AJAX/CSS/PHP. Рассматриваются функциональные возможности ряда популярных фреймворков веб-приложений. Обсуждаются технические характеристики разработанного веб-приложения для работы с пространственными метаданными геопортала.

Ключевые слова: веб-приложение, геопортал, JavaScript-фреймворк, пространственные метаданные, AJAX, JSON.

Непрерывное развитие технологий и технических характеристик сети Интернет в течение двух десятилетий ее существования обеспечило плавный переход в способ представления информации – от тривиальной презентации простых статичных гипертекстовых документов до сложнейших интерактивных мультимедийных информационных систем. Методология

программирования для Интернета постоянно совершенствуется, нарастающими темпами возникают новые средства разработки.

В данной статье мы будем обсуждать архитектуру и методы построения распределенных приложений для сети Интернет, основанных на применении современных средств веб-программирования, методики