УДК 621.317

С.В. Кавчук, Г.И. Ткаченко, Я.С. Савченко

АПРИОРНАЯ ОЦЕНКА СРЕДНЕЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ТАКТА ИЗМЕРЕНИЯ И ЧИСЛА ОТСЧЕТОВ ПРИ АДАПТИВНОЙ ВРЕМЕННОЙ ДИСКРЕТИЗАЦИИ

Рассматривается целесообразность использования адаптивной временной дискретизации (АВД) в информационно-измерительных системах топливно-энергетических комплексов. Целесообразность использование АВД определяется сжимаемостью измерительного сигнала, т.е. отношением числа отсчетов при равномерной временной дискретизации к числу отсчетов при АВД. Данная статья посвящена определению средней длительности интервала измерения и среднего значения числа отсчетов при адаптивной временной дискретизации на основе анализа априорной информации о характеристиках измерительного сигнала. Моделью сигнала служит произвольная (заранее неизвестная) аналитическая функция. Временная дискретизация ориентирована на воспроизведение сигнала степенными, неортогональными полиномами Тейлора, Лагранжа или Ньютона. Критерий качества приближения – равномерный, диапазон возможных тактов измерения при АВД – непрерывный и бесконечный. Для достижения поставленной цели предложен вероятностный подход с использованием методов математической статистики. Получены формулы для оценки числа отсчетов при АВД. Рассмотрен пример оценки сжимаемости детерминированных сигналов на основе изложенного подхода.

Информационно-измерительные системы; адаптивная временная дискретизация; коэффициент сжатия сигналов.

S.V. Kavchuk, G.I. Tkachenko, J.S. Savchenko

APRIORY EVALUATION OF AVERAGE MEASUREMENT COUNTING DURATION AND THE NUMBER OF COUNTS IN ADAPTIVE TEMPORAL SAMPLING

The purpose of article is determination of expediency of use of the adaptive temporary sampling (ATS) in information and measuring systems of fuel and energy complex. Expediency use of ATS is defined by compressibility of a measuring signal, i.e. the relation of number of counting at uniform temporary sampling to number of counting at ATS. This article is devoted to determination of average duration of an interval of measurement and average value of number of counting at adaptive temporary sampling on the basis of the analysis of aprioristic information on characteristics of a measuring signal. As model of a signal any (in advance unknown) analytical function serves. Temporary sampling is focused on signal reproduction sedate, not Taylor, Lagrange or Newton's orthogonal polynoms. Criterion of approach quality – uniform, the range of possible steps of measurement at ATS – continuous and infinite. For achievement of a goal probabilistic approach with use of methods of mathematical statistics is offered. Formulas for an assessment of number of counting are received at ATS. An example of an assessment of compressibility of the determined signals on the basis of the stated approach is reviewed.

Informational measurement systems; adaptive temporal sampling; signals' compression ratio.

Внедрение новых информационных технологий в управлении топливно-энергетическими комплексами подразумевает использование цифровых систем сбора и обработки измерительной информации. На этапе первичного получения информации происходит процесс дискретизации измерительных сигналов по времени. Целесообразность применения устройств адаптивной временной дискретизации (АВД) [2, 3, 4, 5] в информационно-измерительных системах определяется коэффициентом сжатия измерительных данных, который зависит как от вида алгоритма АВД, так и от сжимаемости измерительного сигнала. При этом эффективность сжатия посредством АВД в основном характеризуется таким свойством сигнала как его сжимаемость.

Для теоретической оценки сжимаемости измерительных сигналов необходимо определять среднюю длительность такта измерения и число отсчетов при АВД [1] на основании априорных данных о динамических свойствах сигнала.

В данной работе решается задача оценки числа отсчетов при АВД непосредственно через среднюю длительность такта измерения, определяемую как [1]

$$\bar{\tau} = {t_m}/{m}, \tag{1}$$

где t_m – время наблюдения сигнала; m – число тактов измерения на интервале наблюдения при следующих условиях.

Моделью сигнала служит произвольная (заранее неизвестная) аналитическая функция $x(t), t \in [0, t_m]$. АВД ориентирована на воспроизведение сигнала степенными, неортогональными полиномами Тейлора, Лагранжа или Ньютона. Критерий качества приближения – равномерный, диапазон возможных тактов измерения при АВД – непрерывный и бесконечный. Допустимая абсолютная погрешность аппроксимации (воспроизведения) δ_0 принадлежит области Δ_0 таких малых значений, при которых длительность каждого текущего такта измерения τ при АВД настолько мала, что внутри каждого участка аппроксимации $(n+1)$-я производная $x^{(n+1)}(t)$ приблизительно постоянна. Для аналоговых сигналов, обладающих свойством аналитичности, при отсутствии высокочастотных помех всегда можно указать такую область.

Для принятого ограничения на величину δ_0 из остаточных членов аппроксимирующих полиномов [6] , допуская ошибку второго порядка малости, можно найти зависимость текущего такта измерения от локальных свойств сигнала

$$\tau(t) = \sqrt{\frac{\delta_0 (n+1)!}{a_n \left| x^{(n+1)}(t) \right|}}, \; t \in [t_i, t_i + \tau], \tag{2}$$

где n – степень аппроксимирующего полинома; a_n – коэффициент, зависящий от типа и степени полинома, $x^{(n+1)}(t) \approx const$ – $(n+1)$-я производная сигнала; t_i – момент времени, соответствующий началу i-го такта измерения. В частности для экстраполяционного полинома Тейлора коэффициент $a_n = 1$, а для интерполяционного полинома Лагранжа a_n приведен в таблице:

Таблица

n	0	1	2	3	4
a_n	1/2	1/4	$2\sqrt{3}/9$	1	3,6

Представим значения функций $x^{(n+1)}(t)$ и $\tau(t)$, $t \in [0, t_m]$ как непрерывные случайные величины $X^{(n+1)}$ и T^* с плотностями вероятности $w(x^{(n+1)})$ и $g(\tau)$, которые характеризуют вероятность появления различных значений $(n+1)$-й производной и такта измерения на интервале наблюдения. Тогда (2) можно рассматривать как неслучайную функцию случайного аргумента.

В результате такого подхода вероятностные свойства случайной величины T^* определяются по времени, т.е. вероятность появления значения τ на интервале $[0, t_m]$, пропорциональная времени пребывания функции $\tau(t)$ в дифференциальном коридоре $[\tau, \tau + d\tau]$. При этом множество значений функции $\tau(t)$ образует непрерывное множество перекрывающихся (как бы накладывающихся друг на друга) тактов измерения. Поэтому закон распределения случайной величины T^* по сути дела устанавливается на множестве перекрывающихся тактов измерения, т.е. плотность вероятности $g(\tau)$ есть плотность вероятности перекрывающихся тактов измерения.

Напомним [1], что реальной АВД соответствует множество соприкасающихся тактов измерения, когда конец каждого предыдущего такта совпадает с началом следующего. Для этого множества справедливы очевидные равенства:

$$t_m = \sum_{j=1}^{s} r_j \tau_j \;; \tag{3}$$

$$N_a = \begin{cases} m(n+1) - \textit{для экстраполяции;} \\ m + 1 \;\; - \textit{для интерполяции,} \end{cases} \tag{4}$$

где r_j – число тактов измерения длительности τ_j; N_a – число отсчетов при АВД.

Подставляя (3) в (1), получим

$$\bar{\tau} = \frac{r_1\tau_1 + r_2\tau_2 + \ldots + r_s\tau_s}{m} = \sum p_j \tau_j \text{, где } p_j = r_j / m \text{.}$$

Отсюда видно, что такт измерения при АВД можно представлять в виде дискретной случайной величины T, вероятность появления p_j значений τ_j которой определяется на множестве соприкасающихся тактов измерения. Тогда средняя длительность такта измерения при АВД есть математическое ожидание такта измерения, рассматриваемого как случайная величина T, заданная на множестве соприкасающихся тактов измерения:

$$\bar{\tau} = t_m / m = \sum_{j=1}^{s} p_j \tau_j = M[T], \tag{5}$$

где M – знак математического ожидания.

В конечном итоге решаемая задача может быть сформулирована в виде следующей вероятностной задачи. Пусть даны плотность вероятности $w(x^{(n+1)})$ и функциональная зависимость (2). Требуется, согласно формуле (5), найти среднюю длительность такта измерения при АВД в множестве соприкасающихся тактов, если известно, что закон распределения функции (2) случайного аргумента представляет собой плотность вероятности перекрывающихся тактов измерения.

Решение этой задачи по существу сводится к переходу от множества перекрывающихся к множеству соприкасающихся тактов измерения (т.е. от случайной величины T^* к случайной величине T). Не снижая общности, установим алгоритм перехода на примере дискретных случайных величин T^*, T и случая воспроизведения сигнала экстраполяционным полиномом нулевой степени, когда функция (2) имеет вид:

$$\tau = \psi(\delta_0, x) = \delta_0 / |x| .$$

Пусть модель сигнала – кусочно-линейная функция (рис. 1) с единицей измерения 1 В, где $x^*(t)$ – аппроксимирующая функция, полученная в результате АВД с изменениями (скачками) первой производной (рис. 2). На основании функциональной зависимости ψ каждому значению $|x_j|$ можно при $\delta_0 = 1\,B$ поставить во взаимно-однозначное соответствие такт измерения τ_j (рис. 3) из множества перекрывающихся тактов. Очевидно, в множестве соприкасающихся тактов измерения число одинаковых тактов длительностью τ_j (см. рис. 1) при времени их существования Δ_j составит

$$r_j = \Delta_j / \tau_j = t_m g_j / \tau_j ,$$

а общее количество соприкасающихся тактов измерения будет

$$m = \sum_{j=1}^{k} r_j = \sum t_m g_j / \tau_j \lim_{x\to\infty},$$

где $g_j = \Delta_j / t_m$ – вероятность появления (по времени) j-го такта в множестве перекрывающихся тактов измерения.

Вероятность появления j-го такта на интервале $[0, t_m]$, определяемая на множестве соприкасающихся тактов измерения (по их количеству), будет

$$p_j = \frac{r_j}{m} = g_j \left\{ \tau_j \sum_{j=1}^{k} g_j / \tau_j \right\}^{-1} .$$

Тогда согласно (5) средняя длительность такта измерения при АВД

$$\bar{\tau} = M[T] = \frac{1}{\sum_{j=1}^{k} \frac{g_j}{\tau_j}} = J[T^*] , \tag{6}$$

где *J* – знак среднего гармонического; $J[T^*]$ – среднее гармоническое дискретной случайной величины T^* [6].

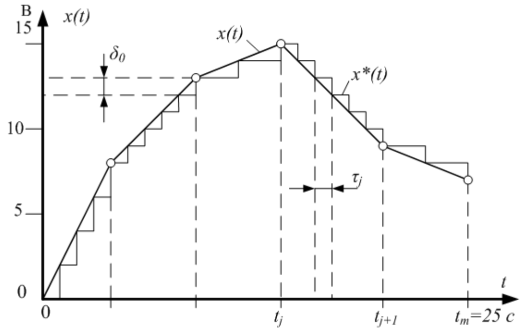

Рис. 1. Модель сигнала в виде кусочно-линейной функции

Для непрерывных случайных величин (6) принимает вид

$$\overline{\tau} = M[T] = \frac{1}{\int_0^\infty \frac{g(\tau)d\tau}{\tau}} = J[T^*] \cdot \qquad (7)$$

Поскольку в качестве случайной величины T^* рассматривается функция $\tau(t)$, то (7) тождественно можно представить в другом виде

$$\overline{\tau} = \left\{ \frac{1}{t_m} \int_0^{t_m} \frac{dt}{\tau(t)} \right\}^{-1}.$$

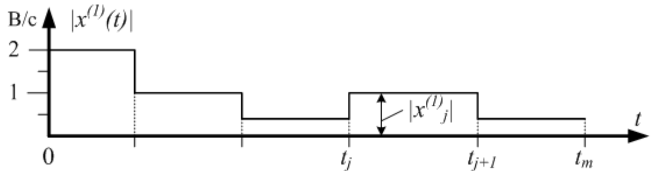

Рис. 2. Модель сигнала, полученная в результате АВД с изменениями (скачками) первой производной

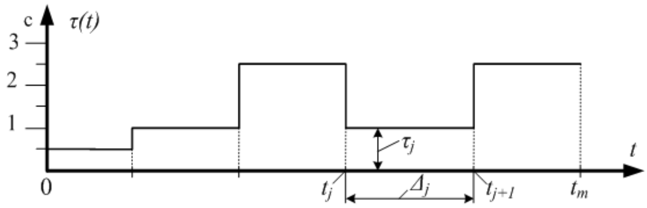

Рис. 3. Модель сигнала, полученная в результате взаимно однозначного соответствия такта измерения $\tau_j \sum$ *на основании функциональной зависимости* ψ

Таким образом, формулы (1), (4) и (7) сводят задачу нахождения числа отсчетов при АВД к определению по заданной плотности вероятности $w(x^{(n+1)})$ известными методами закона распределения функции (2) случайного аргумента, т.е. к определению плотности вероятности перекрывающихся тактов измерения $g(\tau)$.

Воспользуемся известной методикой определения закона распределения функции случайного аргумента [7]. Функция распределения перекрывающихся тактов измерения (случайной величины T^*)

$$G(\tau) = P\left[T^* \prec \tau\right] = \int\limits_{-\infty}^{-x^{(n+1)}} w\left(x^{(n+1)}\right)dx^{(n+1)} + \int\limits_{x^{(n+1)}}^{\infty} w\left(x^{(n+1)}\right)dx^{(n+1)}.$$

Выражая на основании (2) текущий предел интегрирования через τ и дифференцируя интегралы по параметру τ, получим плотность вероятности перекрывающихся тактов измерения

$$g(\tau)=\frac{\delta_0(n+1)(n+1)!}{a_n\tau^{n+2}}\left\{w\left[-\frac{\delta_0(n+1)!}{a_n\tau^{n+1}}\right]+w\left[\frac{\delta_0(n+1)!}{a_n\tau^{n+1}}\right]\right\}. \qquad (8)$$

На основании (7) и (8) средняя длительность такта измерения при АВД будет следующей:

$$\bar{\tau}_Э=\left(\delta_0\,(n+1)(n+1)!\int_0^\infty\left\{w\left[-\frac{\delta_0(n+1)!}{\tau^{n+1}}\right]+w\left[\frac{\delta_0(n+1)!}{\tau^{n+1}}\right]\right\}\frac{d\tau}{\tau^{n+3}}\right)^{-1}$$ – экстраполяция;

(9)

$$\bar{\tau}_И=a_n\left(\delta_0\,(n+1)(n+1)!\int_0^\infty\left\{w\left[-\frac{\delta_0(n+1)!}{a_n\tau^{n+1}}\right]+w\left[\frac{\delta_0(n+1)!}{a_n\tau^{n+1}}\right]\right\}\frac{d\tau}{\tau^{n+3}}\right)^{-1}$$ – интерполяция.

На основании (1), (4) и (9) число отсчетов при АВД, выраженное через априорную характеристику динамических свойств сигнала, с точностью до отсчета будет следующей:

$$N_{aЭ}=t_m\delta_0(n+1)^2(n+1)!\int_0^\infty\left\{w\left[-\frac{\delta_0(n+1)!}{\tau^{n+1}}\right]+w\left[\frac{\delta_0(n+1)!}{\tau^{n+1}}\right]\right\}\frac{d\tau}{\tau^{n+3}}$$ – для экстраполяции;

(10)

$$N_{aИ}=\frac{t_m\delta_0(n+1)(n+1)!}{a_n}\int_0^\infty\left\{w\left[-\frac{\delta_0(n+1)!}{a_n\tau^{n+1}}\right]+w\left[\frac{\delta_0(n+1)!}{a_n\tau^{n+1}}\right]\right\}\frac{d\tau}{\tau^{n+3}}$$ – для интерполяции.

Из (10) при соответствующих заменах переменных в формулах следует, что независимо от вида входного сигнала число отсчетов при АВД экстраполяционного типа $N_{aЭ}$ в $\left[(n+1)\left(\sqrt[n+1]{a_n}\right)^{-1}\right]$ раз больше числа отсчетов при АВД интерполяционного типа $N_{aИ}$, т.е.

$$N_{aИ}=\frac{\sqrt[n+1]{a_n}}{(n+1)}N_{aЭ}.$$

В качестве примера оценим среднюю длительность такта измерения и число отсчетов при АВД экстраполяционного типа для двух случаев, когда $(n+1)$-я производная имеет равномерное и нормальное симметричные распределения:

$$\bar{\tau}_{Эр}=\frac{n+2}{n+1}\cdot\sqrt[n+1]{\frac{\delta_0(n+1)!}{\left|x_m^{(n+1)}\right|}}$$ и $$N_{aЭр}=\frac{t_m(n+1)^2}{n+2}\sqrt[n+1]{\frac{\left|x_m^{(n+1)}\right|}{\delta_0(n+1)!}}$$ (равномерное);

$$\bar{\tau}_{Эн}=\frac{\sqrt{\pi}}{Г\left[\dfrac{n+2}{2(n+1)}\right]}\sqrt[n+1]{\frac{\delta_0(n+1)!}{\sigma\sqrt{2}}}$$

и с $$N_{aЭн}=\frac{t_m(n+1)}{\sqrt{\pi}}Г\left[\frac{n+2}{2(n+1)}\right]\sqrt[n+1]{\frac{\sigma\sqrt{2}}{\delta_0(n+1)!}}$$ (нормальное), где $\left|x_m^{(n+1)}\right|$ – модуль-максимум (n+1)-й производной на интервале наблюдения; $\Gamma(z)$ – гамма-функция; σ – среднеквадратичное отклонение. Здесь следует отметить, что для ограниченных распределений *(n+1)*-ой производной нижний предел интегрирования в (9) должен быть равен шагу $h_Э$ ($h_И$) равномерной временной дискретизации (РВД), т.е.

$$h_Э = \sqrt[n+1]{\frac{\delta_0(n+1)!}{\left|x_m^{(n+1)}\right|}}\,. \qquad (11)$$

В частности, для ступенчатой экстраполяции ($n=0$) число отсчетов при АВД будет

$\frac{t_m}{2}\frac{\left|x_m^{(1)}\right|}{\delta_0}$ (равномерное) и $\frac{t_m}{\sqrt{\pi}}\frac{\sigma\sqrt{2}}{\delta_0}$ (нормальное).

В случае равенства дифференциальных энтропий H равномерного $H_p = \ln(2x_m^{(1)})$ и нормального $H_н = \ln\left(\sigma\sqrt{2\pi e}\right)$ распределений энтропийное отношение числа отсчетов составит

$$\frac{N_{аЭр}}{N_{аЭн}} = \frac{\pi\sqrt{e}}{4} \approx 1,29\,.$$

В заключение рассмотрим пример оценки сжимаемости детерминированных сигналов на основе изложенного подхода. Пусть воспроизведение сигналов:

1) $x_1(t) = at^2/2$, $t \in [0, t_m]$, $a \gtrless 0$;

2) $x_2(t) = \exp(-\alpha t)$, $t \in [0, t_m]$, $\alpha > 0$,

производится экстраполяционным полиномом нулевой степени ($n=0$) при $\delta_0 \in \Delta_0$. Требуется определить коэффициент сжимаемости [1] для каждого сигнала.

Предварительно для каждого сигнала найдем плотность вероятности первой производной

$$w\left(x^{(1)}\right) = \frac{dP\left[x^{(1)} < X^{(1)} < x^{(1)} + dx^{(1)}\right]}{dx^{(1)}}, \qquad (12)$$

где дифференциальное приращение вероятности пребывания функции $x^{(1)}(t)$ в дифференциальном коридоре $[x^{(1)}, x^{(1)} + dx^{(1)}]$ пропорционально дифференциальному времени этого пребывания, т.е.

$$dP\left[x^{(1)} < X^{(1)} < x^{(1)} + dx^{(1)}\right] = \frac{\theta \cdot dx^{(1)}}{dx^{(1)}/dt} = \theta \cdot dt\,,$$

при этом коэффициент θ определяется из условия нормирования плотности вероятности $w\left(x^{(1)}\right)$, а именно $\int_{-\infty}^{\infty} w\left(x^{(1)}\right)dx^{(1)} = 1$.

Дифференцируя $x_1(t)$ и $x_2(t)$:

1) $x_1^{(1)}(t) = at$, $t \in [0, t_m]$, $x_1^{(1)} \in \left[0, at_m\right]$;

2) $x_2^{(1)}(t) = -\alpha \exp(-\alpha t)$, $t \in [0, t_m]$, $x_2^{(1)} \in \left[-\alpha, -\alpha \exp(-\alpha t_m)\right]$,

согласно (12), соответственно получим:

1) $\theta_1 = 1/t_m$ и $w\left(x_1^{(1)}\right) = \dfrac{\theta_1}{dx_1^{(1)}/dt} = \dfrac{1}{t_m |a|}$, $x_1^{(1)} \in \left[0, at_m\right]$;

2) $\theta_2 = \dfrac{1}{t_m}$ и $w\left(x_2^{(1)}\right) = \dfrac{\theta_2}{dx_2^{(1)}/dt} = \dfrac{\theta_2}{\alpha[\alpha \exp(\alpha t)]} = \dfrac{-1}{t_m\alpha \cdot x_2^{(1)}}$,

$x_2^{(1)} \in \left[-\alpha, -\alpha \exp(-\alpha t_m)\right]$,

На основании (9) средняя длительность такта измерения при АВД и ступенчатой экстраполяции для каждого сигнала будет следующая:

$$1)\quad \bar{\tau}_{Э1} = \frac{1}{\delta_0 \int\limits_{\delta_0/at_m}^{\infty} \frac{1}{t_m a} \cdot \frac{1}{\tau^3} d\tau} = 2\frac{\delta_0}{t_m a};$$

$$2)\quad \bar{\tau}_{Э2} = \frac{1}{\int\limits_{-\delta_0/\alpha}^{-\delta_0/\alpha \exp(-\alpha t_m)} \frac{-1}{t_m\alpha}\underbrace{\left(\frac{\delta_0}{x_2^{(1)}}\right)}_{=\tau} \cdot \frac{1}{\tau^3} d\tau} = \frac{1}{\int\limits_{-\delta_0/\alpha}^{-\delta_0/\alpha \exp(-\alpha t_m)} \frac{-1}{t_m\alpha} \cdot \frac{1}{\tau^2} d\tau} = \frac{\delta_0 t_m}{1 - \exp(-\alpha t_m)}. \tag{13}$$

Отсюда, на основании (11) и (13), с учетом, что модуль-максимум первой производной на интервале $[0, t_m]$ для каждого случая

$$\left|x_{1m}^{(1)}\right| = t_m \cdot |a| \quad \text{и} \quad \left|x_{m2}^{(1)}\right| = \alpha,$$

следует при $n = 0$ и $\delta_0 \in \Delta_0$ коэффициент сжимаемости $K_Э = \bar{\tau}_Э / h_Э$ каждого из сигналов:

$$K_{Э1} = 2 \quad \text{и} \quad K_{Э2} = \frac{\alpha \cdot t_m}{1 - \exp(-\alpha t_m)}.$$

Таким образом, в данной статье рассмотрен вероятностный подход к априорной оценке средней длительности такта измерения при АВД, что позволяет оценить коэффициент сжатия измерительного сигнала и обоснованно принимать на этапах эскизного и технического проектирования решение о целесообразности применения устройств АВД в информационно-измерительных системах топливно-энергетических комплексов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кавчук С.В., Ткаченко Г.И., Ткаченко М.Г.* Оценка сжимаемости измерительных сигналов на основании априорных данных об их динамических свойствах // Естественные и технические науки. – 2008. – № 3 (35). – С. 15-18.
2. *Самойлов Л.К., Палазиенко А.А., Сарычев В.В., Ткаченко Г.И.* Дискретизация сигналов по времени (практика, алгоритмы): Монография. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. – 81 с.
3. *Авдеев Б.Я., Семенов Е. И.* Адаптивные информационно-измерительные системы (с адаптивной коммутацией) // Приборы – 2009. – № 10.
4. *Дядюнов А.Н., Онищенко Ю.А., Сенин А.И.* Адаптивные системы сбора и передачи аналоговой информации. Основы теории. – М.: Машиностроение, 1988. - 288 с.

5. *Авдеев Б.Я., Антонюк Е.М., Долинов С.Н., Журавин Л.Г., Семенов Е.И., Фремке А.В.* Адаптивные телеизмерительные системы/ Под ред. А.В. Фремке. – Л.: Энерго-издат. Ленингр. отд-ние, 1981. – 248 с.
6. *Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З.* Численные методы анализа: приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения. – М.: Наука, 1967. – 368 с.
7. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. – 7-е изд. – М.: Физматгиз, 2001. – 575 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.П. Карелин.

Кавчук Сергей Васильевич – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: s_v_k_k@mail.ru; 347922, г. Таганрог, Шевченко, 2; тел.: 88634360302; кафедра информационных измерительных технологий и систем; к.т.н.; доцент.

Ткаченко Григорий Иванович – e-mail: griha33@yandex.ru; тел.: 89185159288; кафедра информационных измерительных технологий и систем; к.т.н.; доцент.

Савченко Яна Сергеевна – e-mail: y.savchenko.mg12@mail.ru; тел.: 89612919810; кафедра информационных измерительных технологий и систем; магистрант.

Kavchuk Sergey Vasilyevich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: s_v_k_k@mail.ru; 2, Shevchenko street, Taganrog, 347922, Russia; phone: +78634360302; the department of informational measurement technologies and systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

Tkachenko Grigory Ivanovich – e-mail: griha33@yandex.ru; phone: +79185159288; the department of informational measurement technologies and systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

Savchenko Jana Sergeyevna – e-mail: y.savchenko.mg12@mail.ru; phone: +79612919810; the department of informational measurement technologies and systems; master degree.

УДК 51-74

С.Л. Беляков, М.Л. Белякова, А.В. Боженюк, М.Н. Савельева

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТОКОВ В ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ*

Рассматривается задача оптимизации потоков в механической транспортной системе за счет рационального выбора стратегии маршрутизации. Особенность постановки задачи состоит в том, что рассматривается комплекс факторов, зависящих от времени эксплуатации системы. Предполагается, что имеет место как изменение свойств самой системы, так и свойств транспортируемых грузов. Оптимизационный процесс базируется на экспертных знаниях. Предполагается, что эксперт, наблюдающий поведение системы, отображает свой опыт путем выделения в транспортной системе подсистем со специфическим поведением. Каждая подсистема отличается стабильностью временных характеристик транспортировки грузов. Стратегия оптимизации использует алгоритмы фиксированной и динамической маршрутизации. Для создания таблиц маршрутизации предлагается использовать модель нечеткого темпорального гиперграфа. Рассматриваются фиксированная и динамическая маршрутизация в условиях неопределенности поведения механической транспортной системы, предлагается модификации алгоритма Дейкстры для случая нечеткого темпорального гиперграфа. Делается вывод об эволюционном развитии систем рассматриваемого класса по мере накопления опыта их эксплуатации.

Механическая транспортная система; фиксированная маршрутизация; динамическая маршрутизация; нечеткий темпоральный гиперграф.

* Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 12-01-00032-а, 13-07-13103-офи_м_РЖД.