

UDC 629.7.018.7:681.3.06:621.396.96

УДК 629.7.018.7:681.3.06:621.396.96

NON-LINEAR OPTIMAL ADAPTIVE  
SMOOTHING METHOD

A. Milshtein, Postgraduate Student  
V. Paslyon, Candidate of Technical sciences, Associate  
Professor, Head of a Chair  
Donetsk National Technical University, Ukraine

The authors consider the nonlinear optimal adaptive smoothing method allowing joint implementation of the spatial and temporal redundancy of data of trajectory measurements.

**Keywords:** spatial redundancy, temporal redundancy, non-linear smoothing, basic function, matrix.

Conference participants, National championship in scientific analytics,  
Open European and Asian research analytics championship

МЕТОД НЕЛИНЕЙНОГО  
ОПТИМАЛЬНОГО АДАПТИВНОГО  
СГЛАЖИВАНИЯ

Мильштейн А.В., аспирант  
Паслён В.В., канд. техн. наук, доцент  
Донецкий национальный технический университет,  
Украина

В статье рассматривается метод нелинейного оптимального адаптивного сглаживания, позволяющий совместно реализовать пространственную и временную избыточность данных траекторных измерений.

**Ключевые слова:** пространственная избыточность, временная избыточность, нелинейное сглаживание, базисная функция, матрица.

Участники конференции, Национального первенства по научной аналитике,  
Открытого Европейско-Азиатского первенства по научной аналитике

**Б**ыстрый прогресс в развитии авиационной и ракетно-космической техники привел к созданию и развитию радиолокационных и оптических систем траекторных измерений. В состав которых входят: радиолокационные и киногеодезические станции, измеряющие первичные параметры положения объектов, а также средства обработки, регистрации и отображения получаемой информации. С помощью аппаратуры информационно-измерительных комплексов вычисляются вторичные параметры положения и движения объектов, анализируются траектории их движения, а также производится послеполетная обработка полученных данных с целью оценки правильности работы бортовых комплексов.

Характерной особенностью данной области исследований является тесная взаимосвязь процессов измерения параметров положения и движения объектов и компьютерной обработки данных, получаемых от радиолокационных и оптических систем. По существу эти два процесса сливаются в единый процесс, составные части которого сильно влияют друг на друга и должны рассматриваться совместно.

Различные аспекты решения задач обработки траекторной информации рассматривались в работах отечественных авторов: Агаджанова П.А., Дулевича В.Е., Жданюка Б.Ф., Огородничука Н.Д., Паслена В.В., Мотылева К.И. и др., а также зарубежных

авторов: Андруса Д., Хьюбера П., Тьюки Дж. и др.

В целях повышения эффективности полигонных испытаний элементов перспективной системы противоракетной обороны, Министерство обороны США, начиная с 2000 года, проводили работы по созданию многофункциональной РЛС траекторных измерений морского базирования, получившей наименование XTR-1 (X-Band Transportable Radar). Данная станция предназначена для обнаружения, распознавания и сопровождения баллистических целей, а также измерения текущих параметров траекторий их полета.

Особенностью траекторной информации, полученной в результате испытаний, является пространственная и временная избыточность. Временная избыточность появляется по причине высокого темпа съема информации, а пространственная избыточность возникает вследствие многократного дублирования измерений различными измерительными средствами. Отличительной чертой траекторных измерений является исключительно высокая требуемая точность и тесная взаимосвязь процессов измерений и обработки информации. До появления персональных компьютеров (ПК) обработка измерительной информации производилась «вручную» или с помощью механических вычислительных средств (логарифмическая линейка, арифмометр, механическая вычислительная машина). Сглажи-

вание информации осуществлялось графо-аналитическим способом, а для вычисления вторичных параметров положения ЛА применялись простые методы, основанные на использовании минимально-необходимого набора первичных координат.

При этом суть простых методов сводилась к аналитическому определению точки пересечения трех поверхностей положения. Алгоритмы преобразования координат при использовании таких методов просты и всем известны, что и явилось причиной их широкого распространения и использования.

К числу недостатков простых методов следует отнести:

- многообразие и неуниверсальность методов, что приводит к большим неудобствам и увеличению сроков обработки;
- наличие обширных зон низкой точности;
- неучет пространственной избыточности измерений, что приводит к потере точности.

Нами предлагается метод нелинейного оптимального адаптивного сглаживания, позволяющий совместно реализовать пространственную и временную избыточность данных траекторных измерений.

Для полиномиального описания стохастических траекторий при совместной реализации пространственной и временной избыточности вводится система линейно-независимых базисных функций (ЛНБФ) и вектор

коэффициентов сглаживающего полинома, состав и величина которого подлежат определению в ходе обработки. В работе нами предложена клеточно-матричная структура базисной функции для осуществления сглаживания путем совместной обработки данных внешнетраекторных измерений (ВТИ), обладающих пространственной и временной избыточностью.

Предлагаемая структура ЛНБФ имеет вид (1).

$$\varphi(t, \tau) = \begin{vmatrix} \varphi_{00}(t, \tau_x)\varphi_{01}(t, \tau_x)\varphi_{02}(t, \tau_x)\dots\varphi_{m0}(t, \tau_x)\varphi_{m1}(t, \tau_x)\varphi_{m2}(t, \tau_x) \\ \varphi_{00}(t, \tau_y)\varphi_{01}(t, \tau_y)\varphi_{02}(t, \tau_y)\dots\varphi_{m0}(t, \tau_y)\varphi_{m1}(t, \tau_y)\varphi_{m2}(t, \tau_y) \\ \varphi_{00}(t, \tau_z)\varphi_{01}(t, \tau_z)\varphi_{02}(t, \tau_z)\dots\varphi_{m0}(t, \tau_z)\varphi_{m1}(t, \tau_z)\varphi_{m2}(t, \tau_z) \end{vmatrix}, \quad (1)$$

где  $\varphi(t, \tau) = (t - t_0)^0 \tau_l^0 (t - t_0)^1 \tau_l^1 (t - t_0)^2 \tau_l^2 \dots (t - t_0)^m \tau_l^m (t - t_0)^m \tau_l^1 (t - t_0)^m \tau_l^2$ ;  
 $l = x, y, z$ ;  
 $m$  – степень сглаживающего полинома;  
 $t$  – текущий момент времени;  
 $t_0$  – момент времени, соответствующий середине интервала сглаживания.  
 $\tau_l$  – вторая независимая переменная базисной функции.

Описанная структура ЛНБФ обладают рядом недостатков, поэтому целесообразным будет, если на множестве точек измерений удалось бы построить систему  $\Lambda$ -ортогональной базисной функции ( $\Lambda$ -ОБФ).

Предлагаемый нами способ состоит в приведении основной матрицы системы к диагональной форме путем построения такой системы  $\Lambda$ -ОБФ, с учетом нелинейного характера задачи, при которой недиагональные элементы основной матрицы системы сводятся к диагональному виду. Построение  $\Lambda$ -ОБФ двух переменных предлагаем осуществить следующим образом.

Пусть исходная система ЛНБФ в общем случае имеет вид (1) с общим элементом  $\varphi_{kl}(t, \tau)$  (где  $k=0, \dots, m$ ;  $l=0, \dots, 1, 2$ ;  $t, \dots, t_p, \dots, t_n$  – моменты времени на интервале сглаживания,  $n$  – число моментов времени на интервале сглаживания,  $\tau$  – независимая переменная, принимающая значения  $\tau_x, \tau_y, \tau_z$ ).

Необходимо построить систему  $\Lambda$ -ОБФ вида (2), с общим элементом

$$P_{00}(t, \tau)P_{01}(t, \tau)P_{02}(t, \tau)\dots P_{kl}(t, \tau)\dots P_{m0}(t, \tau)P_{m1}(t, \tau)P_{m2}(t, \tau) \quad (2)$$

$P_{kl}(t, \tau)$ , для которой недиагональные элементы основной матрицы системы уравнений равны нулю, т.е.

$$J_{kl}^T \Lambda J_{kl} = 0, \quad (3)$$

где  $J$  – Якобиева матрица, элементы которой  $J_{kl} = FP_{kl}$ ;

$F$  – элемент матрицы проекций градиентов.

Для начала процесса  $\Lambda$ -ортогонализации положим

$$P_{00}(t, \tau) = \varphi_{00}(t, \tau);$$

$$J_{00} = \Phi_{00}.$$

Далее представим

$$P_{01}(t, \tau) = \alpha_{00,01}P_{00}(t, \tau) + \varphi_{01}(t, \tau), \quad (4)$$

где вспомогательный коэффициент подлежит уточнению из условия (3).

Для этого на базе известных  $J_{00}$  и  $\Phi_{01}$  вычислим вектор-столбец  $J_{01}$  по формуле

$$J_{01} = \alpha_{00,01}J_{00} + \Phi_{01}. \quad (5)$$

Транспонируем вектор  $J_{01}$  и умножим его справа на  $\Lambda J_{00}$ , полученный результат, благодаря условию (3), приравняем к нулю:

$$J_{01}^T \Lambda J_{00} = \alpha_{00,01} J_{00}^T \Lambda J_{00} + \Phi_{01}^T \Lambda J_{00} = 0. \quad (6)$$

Из выражения (6) найдем значение неизвестного вспомогательного коэффициента  $\alpha_{00,01}$ :

$$\alpha_{00,01} = -\frac{\Phi_{01}^T \Lambda J_{00}}{J_{00}^T \Lambda J_{00}}. \quad (7)$$

Аналогично представим

$$P_{02}(t, \tau) = \alpha_{00,02}P_{00}(t, \tau) +$$

$$+ \alpha_{01,02}P_{01}(t, \tau) + \varphi_{02}(t, \tau) \quad (8)$$

и определим вспомогательные коэффициенты  $\alpha_{00,02}$  и  $\alpha_{01,02}$ .

Для этого на базе известных  $J_{00}$ ,  $J_{01}$  и  $\Phi_{02}$  вычислим вектор-столбец:

$$J_{02} = \alpha_{00,02}J_{00} + \alpha_{01,02}J_{01} + \Phi_{02}. \quad (9)$$

Транспонируем вектор  $J_{02}$ , умножим его справа на  $\Lambda J_{00}$  и, приравняв полученный результат к нулю на базе условия (3) получим:

$$J_{02}^T \Lambda J_{00} = \alpha_{00,02} J_{00}^T \Lambda J_{00} + \alpha_{01,02} J_{01}^T \Lambda J_{00} + \Phi_{02}^T \Lambda J_{00} = 0. \quad (10)$$

Аналогично получим

$$J_{02}^T \Lambda J_{01} = \alpha_{00,02} J_{00}^T \Lambda J_{01} + \alpha_{01,02} J_{01}^T \Lambda J_{01} + \Phi_{02}^T \Lambda J_{01} = 0, \quad (11)$$

домножив  $J_{02}^T$  на  $\Lambda J_{01}$ .

Благодаря условию (3), выражения (10) и (11) упрощаются:

$$\alpha_{00,02} J_{00}^T \Lambda J_{00} + \Phi_{02}^T \Lambda J_{00} = 0,$$

$$\alpha_{01,02} J_{01}^T \Lambda J_{01} + \Phi_{02}^T \Lambda J_{01} = 0. \quad (12)$$

Из выражений (12) вычисляем коэффициенты

$$\alpha_{00,02} = -\frac{\Phi_{02}^T \Lambda J_{00}}{J_{00}^T \Lambda J_{00}};$$

$$\alpha_{01,02} = -\frac{\Phi_{02}^T \Lambda J_{01}}{J_{01}^T \Lambda J_{01}}. \quad (13)$$

Процесс повторяется до получения  $P_{m2}(t, \tau)$ .

Если найдена функция  $P_{k(l-1)}(t, \tau)$  системы (2), то следующая функция  $P_{kl}(t, \tau)$  будет найдена из предложенного нами рекуррентного соотношения:

$$P_{kl}(t, \tau) = \sum_{\chi=0}^{k-1} \sum_{\lambda=0}^2 \alpha_{\chi\lambda,kl} P_{\chi\lambda}(t, \tau) + \sum_{\chi=k}^k \sum_{\lambda=0}^{l-1} \alpha_{\chi\lambda,kl} P_{\chi\lambda}(t, \tau) + \varphi_{kl}(t, \tau), \quad (14)$$

где

$$\alpha_{\chi\lambda,kl} = -\frac{\Phi_{kl}^T \Lambda J_{\chi\lambda}}{J_{\chi\lambda}^T \Lambda J_{00\chi\lambda}}. \quad (15)$$

Рассмотрим методику адаптивного нелинейного оптимального сглаживания многопараметрических данных

измерений с использованием предлагаемой нами структуры ЛНБФ (1):

Исходными данными для осуществления процесса сглаживания являются следующие величины:

$\xi_i^j$  – данные измерений  $j$  первичной координаты (например, дальность, азимут, угол места в  $i$ -й момент времени);

$n$  – число точек на интервале сглаживания;

$N$  – число подлежащих обработке первичных координат;

$m_{max}$  – максимально возможная степень сглаживающего полинома.

Методика адаптивного нелинейного оптимального сглаживания данных траекторных измерений предусматривает:

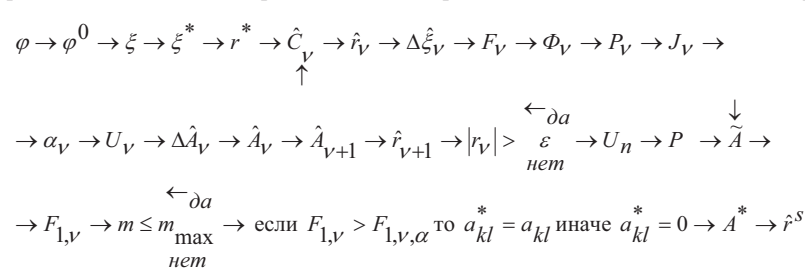
1. Нахождение начального приближения вектора оценок коэффициентов сглаживающего полинома.

2. Определение максимально правдоподобной оценки (МПО) вектора коэффициентов сглаживающего полинома и формирование достаточных статистик.

3. Проверку статистик на значимость и формирование оптимального вектора оценок коэффициентов сглаживающего полинома.

4. Вычисление и вывод на печать сглаженных значений вторичных координат положения летательного аппарата (ЛА).

В общем виде последовательность решения задачи можно представить:



Более подробно ее можно представить следующим образом:

1. Формируем систему ЛНБФ структуры (1) с учетом максимально возможной степени сглаживающего полинома.

2. Формируем вектор измерений, состоящий из  $Nn$  элементов (где  $N$  – количество измеряемых первичных координат,  $n$  – число точек на интервале сглаживания).

3. По минимальному набору пер-

вичных координат рассчитываем вторичные координаты и формируем вектор несглаженных значений вторичных координат.

Если имеются данные РЛС, то вторичные координаты в местной системе координат рассчитываются по формулам [8]:

$$\begin{aligned}
 X &= R \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha, \\
 Y &= R \cdot \sin \beta, \\
 Z &= R \cdot \cos \beta \cdot \sin \alpha,
 \end{aligned}$$

где  $X, Y, Z$  – значения вторичных координат;

$R, \alpha, \beta$  – измеренные значения первичных координат дальности, азимута и угла места.

Если имеются данные двух КТС, то вторичные координаты в местной системе координат рассчитываются по формулам [8]:

$$\begin{aligned}
 X &= -R_{\Gamma} \cdot \sin \alpha_1, \\
 Y &= R_{\Gamma} \cdot \operatorname{tg} \beta, \\
 Z &= R_{\Gamma} \cdot \cos \alpha_1, \\
 R_{\Gamma} &= \frac{-\beta \sin \alpha_2}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)},
 \end{aligned}$$

где  $\beta$  – длина базы угломерной системы;

$\alpha_1, \beta_1$  – азимут и угол места первой КТС;

$\alpha_2$  – азимут второй КТС.

4. Пересчитываем вторичные координаты из местной системы коор-

динат в стартовую систему координат.

5. Путем решения системы уравнения вида  $\varphi^T \varphi C = \varphi^T r^*$  находим оценку коэффициентов сглаживающего полинома по формуле  $\hat{C} = (\varphi^T \varphi)^{-1} \varphi^T r^*$ .

6. По формуле  $\hat{r}_0 = \varphi \hat{C} = \varphi (\varphi^T \varphi)^{-1} \varphi^T r^*$  находим начальное приближение вектора сглаженных значений вторичных координат.

7. По сглаженным значениям вторичных координат  $\hat{r}_0$  вычисляем

сглаженные значения начального приближения первичных координат  $\hat{\xi}_0$  и формируем из них вектор со структурой идентичной структуре, приведенной в п.2.

Формулы пересчета из вторичных координат (стартовой системы) в первичные координаты (местной системы) имеют вид [8]:

$$\begin{aligned}
 R &= \sqrt{(X - X_j)^2 + (Y - Y_j)^2 + (Z - Z_j)^2}, \\
 \alpha &= \operatorname{arctg} \frac{(Z - Z_j)}{(X - X_j)}, \\
 \beta &= \operatorname{arctg} \frac{(Y - Y_j)}{R_{xz}},
 \end{aligned}$$

$$\text{где } R_{xz} = \sqrt{(X - X_j)^2 + (Z - Z_j)^2};$$

$X_j, Y_j, Z_j$  – координаты станций, выполняющих измерения  $j$ -го первичного параметра;

$X, Y, Z$  – вторичные координаты точки (объекта измерений) в пространстве в стартовой системе координат.

8. Определяем вектор отклонений  $\Delta \tilde{\xi}_0 = \xi - \hat{\xi}_0$  данных  $\xi$  измерений от вычисленных первичных параметров  $\hat{\xi}_0$ , полученных на начальном этапе с использованием сглаживания полиномом  $m$ -го порядка.

9. По вычисленным значениям вторичных параметров рассчитываем проекции градиентов соответствующих первичных данных измерений по формулам, приведенным в [8], и формируем матрицу проекций градиентов.

10. По вычисленным значениям проекций градиентов, соответствующих первичным данным измерений и структуре ЛНБФ (1), формируем Якобинову матрицу  $\Phi$  с общим элементом:

$$\Phi_{i,kl}^j = \sum_{u=x,z} \frac{\partial \xi_i^j}{\partial r_i^j} \varphi_{kl}(t_i, \tau_u)$$

где  $U = X, Y, Z$ ;

$l = 0, 1, 2$ ;

$j$  – тип первичной координаты;

или в матричной форме  $\Phi = F \varphi$  (где  $F$  – матрица проекций градиентов).

При этом положение элемента  $\Phi_{i,kl}^j$

в матрице будет определяться следующим образом:

- циклически изменяющиеся индексы  $j$  и  $i$ , обозначающие соответственно тип (номер) измеряемого параметра и номер точки измерений, определяют номер строки в соответствии с упорядоченным расположением элементов вектора  $\xi_i^j$  измерений;

- циклически изменяющиеся индексы  $l$  и  $k$ , обозначающие соответственно составляющую вычисляемого вектора положения (т.е. степень по аргументу  $\tau$ ) и степень по аргументу  $t$ , определяют номер столбца в соответствии с упорядоченным расположением компонент  $a_{kl}$  вектора  $A$ .

11. На базе системы ЛНБФ структуры (1) строим систему  $\Lambda$ -ОБФ из условия равенства нулю недиагональных элементов основной матрицы  $J_{vkl}^T \Lambda J_{vkl} = 0$ . Для построения  $\Lambda$ -ОБФ воспользуемся рекуррентной формулой (14) и (15).

12. Из значений вспомогательных коэффициентов (15), полученных в процессе построения  $\Lambda$ -ОБФ на  $v$  шаге приближений, формируем верхнюю треугольную матрицу  $\alpha_v$ , диагональные элементы которой равны нулю.

13. Из значений вспомогательных коэффициентов (15) формируем верхнюю треугольную матрицу  $U_v$  с общим элементом, рассчитанным по формуле

$$U_{\chi\lambda,kl} = \sum_{p=k}^k \sum_{q=0}^{l-1} U_{\chi\lambda,pq} \alpha_{pq,kl} + \sum_{p=0}^{k-1} \sum_{q=0}^2 U_{\chi\lambda,pq} \alpha_{pq,kl}$$

Диагональные элементы этой матрицы равны единице.

Причем матрица  $U$  накапливается от одной итерации к другой и имеет вид  $P_v = \varphi U_1 U_2 \dots U_v = \varphi U_{II}$ , после завершения итеративного процесса.

14. По формуле

$$\Delta \hat{A}_v = (J_v^T \Lambda J_v)^{-1} J_v^T \Lambda \Delta \xi_v$$

рассчитываем вектор приращений последовательных приближений оценок коэффициентов сглаживающего полинома.

15. Найденная поправка  $\Delta \hat{A}$  должна быть сложена с  $\hat{C}_v$ , соответствующим

той же системе  $\Lambda$ -ОБФ, а не с  $\hat{C}_v$ , соответствующим системе ЛНБФ. Для этого необходимо операцию пересчета  $\hat{C}_v$  в  $\hat{A}_v$  проводить на этапе каждого приближения, так как  $\Lambda$ -ОБФ от итерации к итерации изменяется. Пересчет  $\hat{C}_v$  в  $\hat{A}_v$  производим по формуле

$$\hat{r}(t, C) = \varphi C = \varphi I C = \varphi U U^{-1} C = P \hat{A},$$

или  $\hat{A}_v = (I - \alpha_v) \hat{C}_v$  (где  $I$  – единичная матрица).

16. По основному алгоритму

$$\hat{A}_{v+1} = \hat{A}_v + \Delta \hat{A}_v = \hat{A}_v + (J_v^T \Lambda J_v)^{-1} J_v^T \Lambda \{\xi - \xi[r(t, A_v)]\}$$

находим очередное приближение вектора оценок сглаживающего полинома.

17. По формуле  $\Delta \hat{r}_v = P_v \Delta \hat{A}_v$  находим вектор приращений вторичных координат.

18. По формуле  $\Delta \hat{r}_v = \hat{r}_v + \Delta \hat{r}_v$  вычисляем  $(v+1)$ -приближение вторичных координат.

19. Проверяем условие

$$|\Delta \hat{r}_v| \leq \varepsilon,$$

где  $\varepsilon = 0,1 - 0,5$  м – константа, введенная для завершения итеративного процесса.

Если составляющие вектора  $\Delta \hat{r}_v$  не удовлетворяют этому условию, то происходит переписывание

$$\hat{C}_v := \hat{A}_{v+1}; \quad \hat{r}_v := \hat{r}_{v+1}; \\ \varphi_v(t, \tau) := P_v(t, \tau)$$

и начиная с пункта 5, процесс повторяется до выполнения условия пункта 19.

Если составляющие вектора  $\Delta \hat{r}_v$  удовлетворяют этому условию, то последнее приближение вектора оценок коэффициентов сглаживающего полинома считается их максимально правдоподобной оценкой.

20. По критерию Фишера рассчитываем статистику по формуле

$$F_{1,v} = \frac{\hat{\alpha}^2 \chi^k}{\hat{\sigma}^2 \hat{\alpha} \chi^k},$$

представляющая отношение квадрата оценки коэффициента полинома к оценке его дисперсии (где  $\chi = 0, 1, 2; k = 0, \dots, m_{max}$ ).

21. Проверяем каждый компонент вектора коэффициентов сглаживающего полинома на значимость путем сравнения соответствующей статистики с табулированным пороговым уровнем, зависящим от числа степеней свободы и заданной доверительной вероятности.

Если соответствующая статистика больше порогового уровня, то проверяемый компонент остается в составе вектора коэффициентов сглаживающего полинома, если статистика меньше порогового уровня, то значение проверяемого компонента приравнивается к нулю.

Выполнив проверку, получаем оптимальный вектор оценок коэффициентов сглаживающего полинома  $\hat{A}_{opt}$ .

Умножив оптимальный вектор оценок сглаживающего полинома  $\hat{A}_{opt}$  на систему  $\Lambda$ -ОБФ, получим значения вторичных координат положения ЛА.

22. Далее процесс повторяется с пункта 2, то есть обрабатывается следующий шаг локально-скользящего сглаживания (ЛСС).

23. Результаты сглаживания выводятся на печать в виде, удобном для потребителя.

Вывод: В результате проделанной работы нами доказана возможность осуществления нелинейного оптимального адаптивного сглаживания данных измерений с помощью системы ЛНБФ двух переменных и ее программная реализация на современных ЭВМ, с целью повышения точности и достоверности оценки вторичных параметров положения и движения испытываемых объектов.

## References:

1. Mil'shtein A.V. Metod nelineinogo sglazhivaniya v obrabotke dannykh traektornykh izmerenii [Non-linear smoothing method at processing of trajectory measurements data], A. V. Mil'shtein, V.V. Paslen, Collection of scientific works, State higher educational establishment. -Donets'k., DonI.ZT., Vol. 28., 2011., pp. 94–101.
2. Mil'shtein A.V. Novoe v praktike nelineinogo sglazhivaniya pri obrabotke dannykh traektornykh izmerenii [New things in practice of non-linear

smoothing at processing of trajectory measurements data], A.V. Mil'shtein, I.V. Drozda, V.V. Paslen, Avtomatizatsiya tekhnologichnikh ob'ektiv ta protsesiv. Poshuk molodikh: Zbirnik naukovikh prats' KhII naukovo-tekhnichnoi konferentsii aspirantiv ta studentiv v m. Donets'ku [Automatization of technological objects and processes. Search for the young: Collection of scientific reports of the XII scientific and technical conference of postgraduates and students in the city of Donetsk], April 17-20, 2012. – Donets'k., DonNTU, 2012., pp. 55-57.

3. Milshtein O. To the question of application the structures of basic functions., O. Milshtein, I. Drozda, Y. Savytskaja, V. Paslon, Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science., Proceedings of the 11th International Conference, TCSET'2012, Lviv-Slavske, 21–24 February 2012. – Lviv., Lviv Polytechnic National University, 2012., 413 P.

4. Mil'shtein A.V. Vybor struktury ortogonal'nykh bazisnykh funktsii [Choosing the structure of orthogonal basic functions], A.V. Mil'shtein, V.V. Paslen, The latest technology in telecommunications: Abstracts of the V International scientific-technical symposium., January 17-21, 2012. – Kiev., 2012., p. 93–95.

5. Mil'shtein A.V. Issledovanie struktur bazisnykh funktsii [Examining the structure of basic functions], A.V. Mil'shtein, K.I. Motylev, V.V. Paslen, Coll. of scientific works of Donetsk Institute of Railway Transport. – Donets'k., DonIZT., Vol. 29., 2012., pp. 23–29.

6. Mil'shtein A.V. O vozmozhnosti primeniya bazisnykh funktsii dvukh peremennykh v praktike traektornykh izmerenii [On the possibility of application of basic functions of two variables in the practice of trajectory measurements], A.V. Mil'shtein, I.V. Drozda, Ya.A. Savitskaya, V.V. Paslen, Sovremennye problemy radiotekhniki i telekommunikacij RT-2012: 8-ja Mezhdunarodnaja molodjozhnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija [Modern problems of radio engineering and telecommunications RT-2012: 8th International Scientific and Technical

Conference for Youth], April 23-27, 2012. – Sevastopol', 2012. – 330 p.

7. Mil'shtein A.V. Issledovanie sposobov postroeniya  $\Lambda$ -ortogonal'nykh bazisnykh funktsii dvukh peremennykh [Examination of methods of building  $\Lambda$ -orthogonal basic functions of two variables], A.V. Mil'shtein, K.I. Motylev, V.V. Paslen, Collection of scientific works of Donetsk Institute of Railway Transport. – Donets'k., DonIZT., Vol. 30., 2012., pp. 19–27.

### Литература:

1. Мильштейн А.В. Метод нелинейного сглаживания в обработке данных траекторных измерений / А.В. Мильштейн, В.В. Паслэн // 36. наук. праць Донецького інституту залізничного транспорту. – Донецьк: ДонІЗТ. – Випуск 28. – 2011. – С. 94–101.

2. Мильштейн А.В. Новое в практике нелинейного сглаживания при обработке данных траекторных измерений / А.В. Мильштейн, И.В. Дрозда, В.В. Паслэн // Автоматизация технологичних об'єктів та процесів. Пошук молодих: Збірник наукових праць XII науково-технічної конференції аспірантів та студентів в м. Донецьку, 17-20 квітня 2012 р. – Донецьк: ДонНТУ, 2012. – С. 55-57.

3. Milshtein O. To the question of application the structures of basic functions / O. Milshtein, I. Drozda, Y. Savytskaja, V. Paslon // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science - Proceedings of the 11th International Conference, TCSET'2012, Lviv – Slavske, 21 – 24 February 2012. – Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2012. P. 413.

4. Мильштейн А.В. Выбор структуры ортогональных базисных функций / А.В. Мильштейн, В.В. Паслэн // Новітні технології в телекомунікаціях: Збірник тез V Міжнарод. наук.-техн. симпозиуму, 17-21 січня 2012 р. – К., 2012. – С. 93–95.

5. Мильштейн А.В. Исследование структур базисных функций / А.В. Мильштейн, К.И. Мотылев, В.В. Паслэн // 36. наук. праць Донецького інституту залізничного транспорту. – Донецьк: ДонІЗТ. – Випуск 29. – 2012. – С. 23–29.

6. Мильштейн А.В. О возможности применения базисных функций двух переменных в практике траекторных измерений / А.В. Мильштейн, И.В. Дрозда, Я.А. Савицкая, В.В. Паслэн // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций RT-2012: 8-я Международная молодёжная научно-техническая конференция, 23-27 апреля 2012 г. – Севастополь, 2012. – С. 330.

7. Мильштейн А.В. Исследование способов построения  $\Lambda$ -ортогональных базисных функций двух переменных / А.В. Мильштейн, К.И. Мотылев, В.В. Паслэн // 36. наук. праць Донецького інституту залізничного транспорту. – Донецьк: ДонІЗТ. – Випуск 30. – 2012. – С. 19–27.

### Information about authors:

1. Aleksandr Milshtein - Postgraduate Student, Donetsk National Technical University; address: Ukraine, Krasnohorivka city; e-mail: alexander235@rambler.ru

2. Vladimir Paslyon - Candidate of Technical sciences, Associate Professor, Head of a Chair, Donetsk National Technical University; address: Ukraine, Donetsk city; e-mail: paslen@yandex.ru

