

Разработка программного обеспечения для многовариантного прогнозирования экономического события в условиях неопределенности на основе 2-звенной кусочно-линейной экономико-математической модели в m -мерном векторном пространстве

© 2010 А.Г. Алиев

кандидат экономических наук, доцент

Азербайджанская государственная нефтяная академия, г. Баку

E-mail: azad_dosent@yahoo.com

Разработано программное обеспечение для компьютерного моделирования прогноза экономического события в условиях неопределенности на основе 2-звенных кусочно-линейных экономико-математических моделей в m -мерном векторном пространстве. Сформирован алгоритм действий по данной программе.

Ключевые слова: конечномерное векторное пространство, кусочно-линейные экономико-математические модели, влияние фактора неопределенности, многовариантное прогнозирование, неучтенные факторы, алгоритм компьютерного моделирования, программа Matlab.

Прогнозирование - это способ научного предвидения, в котором используют как накопленный в прошлом опыт, так и текущие допущения насчет будущего с целью его определения. Основная функция прогноза - обоснование возможного состояния объекта в будущем или определение альтернативных путей.

В основе экономического прогнозирования лежит предположение о том, что будущее состояние экономики в значительной мере предопределяется ее прошлым и настоящим состояниями. Будущее несет в себе и элементы неопределенности. Это объясняется следующими моментами: наличием не одного, а множества вариантов возможного развития; действием экономических законов в будущем, зависящим не только от прошлого и настоящего состояний экономики, но и от управленческих решений, которые еще только должны быть приняты и реализованы; неполнотой познания экономических законов, дефицитом и недостаточной надежностью информации.

Под методами прогнозирования следует понимать совокупность приемов и способов мышления, позволяющих на основе ретроспективных данных внешних и внутренних связей объекта прогнозирования, а также их измерений в рамках рассматриваемого явления или процесса вывести суждения об определенности и достоверности относительно будущего состояния и развития объекта¹.

Экономико-математические модели в прогнозировании широко используются при составле-

нии социально-экономических прогнозов на макроэкономическом уровне. К таким моделям относятся: однофакторные и многофакторные модели экономического роста, модели распределения общественного продукта (ВВП, ВНП, НД), структурные модели, межотраслевые модели, модели воспроизводства основных фондов, модели движения инвестиционных потоков и др.

Нами разработана теория построения n -звенных кусочно-линейных экономико-математических моделей в условиях неопределенности в m -мерном векторном пространстве, а также предложен математический метод определения многовариантного прогнозирования экономического события в условиях неопределенности². К фундаментальным результатам этой теории относятся следующие:

- предложен постулат "пространственно-временная определенность экономического процесса в условиях неопределенности в конечномерном векторном пространстве";
- определена зависимость любого n -го кусочно-линейного векторного уравнения \bar{z}_n от 1-й кусочно-линейной функции \bar{z}_1 и всех пространственного вида функций влияния неучтенных параметров $\omega_n(\lambda_n^k, \alpha_{n-1,n})$, воздействующих на всем предыдущем интервале экономического события вида

$$\bar{z}_n = \bar{z}_1 \left\{ 1 + A \left[1 + \omega_n(\lambda_n, \alpha_{n-1,n}) \right] + \right.$$

$$+ \left. \sum_{i=2}^{n-1} \omega_i(\lambda_i^{k_i}, \alpha_{i-1,i}) \right\};$$

• разработан метод построения прогнозирующей вектор-функции экономического процесса $\bar{Z}_{N+1}(\beta)$ с учетом влияния прогнозирующей функции неучтенных параметров $\Omega_{N+1}(\lambda_{N+1}, \alpha_{N,N+1})$ в конечномерном векторном пространстве вида

$$\bar{Z}_{N+1}(\beta) = \bar{z}_1 \left\{ 1 + A \left[1 + \sum_{i=2}^N \omega_i(\lambda_i^{k_i}, \alpha_{i-1,i}) + \Omega_{N+1}(\lambda_{N+1}, \alpha_{N,N+1}) \right] \right\}.$$

Причем под воздействием функций влияния неучтенных параметров вида $\Omega_{N+1}(\mu_{N+1}, \lambda_{N+1}, \alpha_{N,N+1})$ с конца последнего векторного уравнения кусочно-линейной прямой $\bar{z}_N^{k_N}(\mu_N^{k_N}; \lambda_N^{k_N}, \alpha_{N,N+1})$ будут исходить прогнозирующие вектор-функции

$\bar{Z}_{N+1}(\beta) = \bar{Z}_{N+1}(\mu_{N+1}; \lambda_{N+1}, \alpha_{N,N+1})$, которые представляют собой образующие гиперконические поверхности конечномерного векторного пространства, а точки ее направляющей будут формировать линию прогнозирования экономического процесса в конечномерном векторном пространстве.

Также разработано специальное программное обеспечение для компьютерного моделирования численного построения и определения прогнозных величин экономического события с помощью кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом влияния неучтенных факторов на плоскости³.

Данная программа была успешно апробирована на многочисленных примерах. Здесь было получено полное соответствие графическим представлениям ранее разработанных плоскостных кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом влияния неучтенных факторов (выпуклостью кверху и книзу), а также установлены области изменения прогнозируемой функции (выпуклостью кверху и книзу), что свидетельствует о ее надежности. Данная программа апробирована и для кусочно-линейных моделей синусоидального типа⁴.

Однако возникающие трудности вычислительного характера требуют создания как специ-

ального программного обеспечения для компьютерного программирования, так и алгоритма действий для экономических процессов в условиях неопределенности в конечномерном векторном пространстве. В данной связи разработано программное обеспечение для компьютерного моделирования 2-звенной кусочно-линейной экономико-математической модели с учетом влияния факторов неопределенности в 3- и m -мерном векторных пространствах⁵. Здесь закладываются теоретические основы программирования подобных задач в конечномерном векторном пространстве.

В связи с изложенным в статье предлагается обобщающий алгоритм программного обеспечения для многовариантного прогнозирования экономического события в условиях неопределенности на основе 2-звенной кусочно-линейной экономико-математической модели в m -мерном векторном пространстве.

Для случая 2-звенной кусочно-линейной вектор-функции в условиях неопределенности в m -мерном пространстве на основе программы Matlab разработаем алгоритм и численную программу для многовариантного прогнозирования экономического события.

Согласно теории⁶, для случая 2-звенной кусочно-линейной вектор-функции в условиях неопределенности в m -мерном векторном пространстве имеем следующие уравнения и соотношения:

$$\bar{z}_1^{k_1} = \bar{a}_1 + \mu_1^{k_1}(\bar{a}_2 - \bar{a}_1);$$

$$\mu_1^{k_2} = \mu_1^{k_1} + \mu_2^{k_2} \frac{(\bar{a}_3 - \bar{z}_1^{k_1})^2}{(\bar{a}_3 - \bar{z}_1^{k_1})(\bar{a}_2 - \bar{a}_1)};$$

$$\bar{z}_1^{k_2} = \bar{a}_1 + \mu_1^{k_2}(\bar{a}_2 - \bar{a}_1);$$

$$\bar{z}_2^{k_2} = \bar{z}_1^{k_1} + (\mu_1^{k_2} - \mu_1^{k_1}) \frac{(\bar{a}_3 - \bar{z}_1^{k_1})(\bar{a}_2 - \bar{a}_1)}{(\bar{a}_3 - \bar{z}_1^{k_1})^2} (\bar{a}_3 - \bar{z}_1^{k_1});$$

$$\text{Cos} \alpha_{1,2} = \frac{(\bar{z}_1^{k_2} - \bar{z}_1^{k_1})(\bar{z}_2^{k_2} - \bar{z}_1^{k_1})}{\left| \bar{z}_1^{k_2} - \bar{z}_1^{k_1} \right| \cdot \left| \bar{z}_2^{k_2} - \bar{z}_1^{k_1} \right|};$$

$$A(\mu_1^{k_2}) = A = (\mu_1^{k_1} - \mu_1^{k_2}) \frac{|\bar{a}_2 - \bar{a}_1| |\bar{z}_1^{k_1} - \bar{a}_1|}{\bar{z}_1^{k_2} (\bar{z}_1^{k_1} - \bar{a}_1)};$$

$$\lambda_2(\mu_1^{k_2}) = \lambda_2^{k_2} = \frac{\mu_2^{k_2}}{\mu_1^{k_1} - \mu_1^{k_2}} \cdot \frac{\left| \bar{z}_1^{k_2} - \bar{z}_1^{k_1} \right| \left| \bar{a}_3 - \bar{z}_1^{k_1} \right|}{\bar{z}_1^{k_2} (\bar{z}_1^{k_2} - \bar{z}_1^{k_1})} \times$$

$$\begin{aligned} & \times \frac{\bar{z}_1^{k_2} (\bar{z}_1^{k_1} - \bar{a}_1)}{|\bar{a}_2 - \bar{a}_1| |\bar{z}_1^{k_1} - \bar{a}_1|}; \\ \omega_2(\lambda_2^{k_2}, \alpha_{1,2}) &= \lambda_2^{k_2} \text{Cos}\alpha_{1,2}; \\ \bar{z}_2(\mu_1^{k_2}) &= \bar{z}_2 = \bar{z}_1^{k_2} \{1 + A [1 + \omega_2(\lambda_2^{k_2}, \alpha_{1,2})]\}; \\ \bar{z}_1(\mu_1) &= \bar{z}_1 = \bar{a}_1 + \mu_1(\bar{a}_2 - \bar{a}_1); \\ \mu_2 &= (\mu_1 - \mu_1^{k_1}) \cdot \frac{(\bar{a}_3 - \bar{z}_1^{k_1})(\bar{a}_2 - \bar{a}_1)}{(\bar{a}_3 - \bar{z}_1^{k_1})^2}; \\ A(\mu_1) &= (\mu_1^{k_1} - \mu_1) \frac{|\bar{a}_2 - \bar{a}_1| |\bar{z}_1^{k_1} - \bar{a}_1|}{\bar{z}_1(\bar{z}_1^{k_1} - \bar{a}_1)}; \\ \lambda_2(\mu_1) &= \frac{\mu_2}{\mu_1^{k_1} - \mu_1} \cdot \frac{|\bar{z}_1 - \bar{z}_1^{k_1}| |\bar{a}_3 - \bar{z}_1^{k_1}|}{\bar{z}_1(\bar{z}_1 - \bar{z}_1^{k_1})} \cdot \frac{\bar{z}_1(\bar{z}_1^{k_1} - \bar{a}_1)}{|\bar{a}_2 - \bar{a}_1| |\bar{z}_1^{k_1} - \bar{a}_1|}; \\ \omega_2(\lambda_2(\mu_1), \alpha_{12}) &= \omega_2(\mu_1) = \lambda_2(\mu_1) \text{Cos}\alpha_{1,2}; \\ \bar{z}_2(\mu_1) &= \bar{z}_1 \{1 + A(\mu_1) [1 + \omega_2(\mu_1)]\}; \\ \bar{a}_4 &= \sum_{j=1}^m a_4 j^j; \\ a_{42}(1) &= (\bar{a}_4)_2 = z_{22}^{k_2} + \frac{a_{22} - a_{12}}{a_{21} - a_{11}} (a_{41}(1) - z_{21}^{k_2}); \\ a_{43}(1) &= (\bar{a}_4)_3 = z_{23}^{k_3} + \frac{a_{23} - a_{13}}{a_{21} - a_{11}} (a_{41}(1) - z_{21}^{k_2}); \\ a_{44}(1) &= (\bar{a}_4)_4 = z_{24}^{k_3} + \frac{a_{24} - a_{14}}{a_{21} - a_{11}} (a_{41}(1) - z_{21}^{k_2}); \\ \dots & \dots; \\ a_{4m}(1) &= (\bar{a}_4)_m = z_{2m}^{k_2} + \frac{a_{2m} - a_{1m}}{a_{21} - a_{11}} (a_{41}(1) - z_{21}^{k_2}); \\ q_1 &= \frac{(\bar{a}_2 - \bar{a}_1)(\bar{a}_3 - \bar{z}_1^{k_1})}{(\bar{a}_3 - \bar{z}_1^{k_1})^2}; \\ q_2 &= \frac{(\bar{a}_3 - \bar{z}_1^{k_1})(\bar{a}_4(1) - \bar{z}_2^{k_2})}{(\bar{a}_4(1) - \bar{z}_2^{k_2})^2}; \\ \mu_3 &= (\mu_1 - \mu_1^{k_2}) q_1 q_2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_3 &= \frac{|\bar{z}_2(\mu_1) - \bar{z}_2^{k_2}| \cdot |\bar{a}_4(1) - \bar{z}_2^{k_2}|}{\bar{z}_1(\bar{z}_2(\mu_1) - \bar{z}_2^{k_2})}; \\ q_4 &= \frac{\bar{z}_1(\bar{z}_1^{k_1} - \bar{a}_1)}{|\bar{a}_2 - \bar{a}_1| \cdot |\bar{z}_1^{k_1} - \bar{a}_1|}; \\ \lambda_3(\mu_1) &= \frac{\mu_3}{\mu_1^{k_1} - \mu_1} \cdot q_3 \cdot q_4; \\ \text{Cos}\alpha_{2,3} &= \frac{(\bar{z}_2(\mu_1) - \bar{z}_2^{k_2}) \cdot (\bar{a}_4(1) - \bar{z}_2^{k_2})}{|\bar{z}_2(\mu_1) - \bar{z}_2^{k_2}| |\bar{a}_4(1) - \bar{z}_2^{k_2}|}; \\ A_3(\mu_1) &= (\mu_1^{k_1} - \mu_1) \cdot \frac{|\bar{a}_2 - \bar{a}_1| \cdot |\bar{z}_1^{k_1} - \bar{a}_1|}{\bar{z}_1(\bar{z}_1^{k_1} - \bar{a}_1)}; \\ \Omega_3(\lambda_3(\mu_1), \alpha_{2,3}) &= \lambda_3(\mu_1) \cdot \text{Cos}\alpha_{2,3}; \\ \bar{z}_3(\mu_1) &= \bar{z}_1 \{1 + A_3(\mu_1) [1 + \omega_2(\mu_1) + \Omega_3(\lambda_3, \alpha_{2,3})]\}. \end{aligned} \tag{1}$$

Зададим аппроксимационные точки $\bar{a}_1, \bar{a}_2, \bar{a}_3, \bar{a}_4(1)$, а также значения параметров $\mu_1^{k_1} = \mu_1^*$ и $\mu_2^{k_2} = \mu_2^*$. Введем обозначения:

$$\begin{aligned} \bar{a}_1 &\rightarrow a1; \bar{a}_2 \rightarrow a2; \\ (\bar{a}_4)_1 &\longrightarrow a4(1); \mu_1 \rightarrow m1; \mu_1^{k_1} \rightarrow m1k1; \\ \mu_1^{k_2} &\rightarrow m1k2; \mu_2 \rightarrow m2; \mu_2^{k_2} \longrightarrow m2k2; \\ z_1^{k_1} &\rightarrow z1k1; z_1^{k_2} \rightarrow z1k2; \\ z_2^{k_2} &\rightarrow z2k2; \text{Cos}\alpha_{12} \rightarrow \text{Cos}a12; \\ A(\mu_1^{k_2}) &= A \rightarrow A; \lambda_2(\mu_1^{k_2}) = \lambda_2^{k_2} \rightarrow La2; \\ \omega_2(\lambda_2^{k_2}, \alpha_{12}) &\rightarrow w2; \bar{z}_2(\mu_1^{k_2}) \rightarrow z2; \\ \bar{z}_1(\mu_1) &\rightarrow z1; |\bar{z}_1(\mu_1)| \rightarrow z1M; A(\mu_1) \rightarrow Am1; \\ \lambda_2(\mu_1) &\rightarrow La2m1; \omega_2(\lambda_2(\mu_1), \alpha_{12}) \rightarrow w2m1; \\ \bar{z}_2(\mu_1) &\rightarrow z2m1; |\bar{z}_2(\mu_1)| \rightarrow z2m1M; \\ (\bar{a}_4)_2 &\rightarrow a4(2); (\bar{a}_4)_3 \rightarrow a4(3); (\bar{a}_4)_4 \rightarrow a4(4); \\ \dots, (\bar{a}_4)_\beta &\rightarrow a4(\beta); q_1 = q1; q_2 = q2; \mu_3 \rightarrow m3; \\ \lambda_3(\mu_1) &\rightarrow La3m; q_3 = q3; q_4 = q4; \\ \text{Cos}\alpha_{23} &\rightarrow \text{Cos}a23; \end{aligned}$$

$$A_3(\mu_1) \rightarrow Am1p; \Omega_3(\lambda_3(\mu_1), \alpha_{23}) \rightarrow w3mp;$$

$$\bar{Z}_3(\mu_1) \rightarrow z3m1p; \left| \bar{Z}_3(\mu_1) \right| \rightarrow z3m1pM;$$

$$\left| \bar{z}_2(\mu_1) / \bar{Z}_3(\mu_1) \right| \rightarrow (z2m1M) / (z3m1pM) = B_2;$$

$$\left| \bar{z}_1(\mu_1) / \bar{z}_2(\mu_1) \right| \rightarrow (z1M) / (z2m1M) = B_3;$$

$$\bar{z}_1(1) / \bar{Z}_3(1) \rightarrow (z1(1)) / (z3m1p(1)) = B_4;$$

$$\bar{z}_2(1) / \bar{Z}_3(1) \rightarrow (z2m1(1)) / (z3m1p(1)) = B_5;$$

$$\bar{z}_1(1) / \bar{z}_2(1) \rightarrow (z1(1)) / (z2m1(1)) = B_6;$$

$$\bar{z}_1(2) / \bar{Z}_3(2) \rightarrow (z1(2)) / (z3m1p(2)) = B_7;$$

$$\bar{z}_2(2) / \bar{Z}_3(2) \rightarrow (z2m1(2)) / (z3m1p(2)) = B_8;$$

$$\bar{z}_1(2) / \bar{z}_2(2) \rightarrow (z1(2)) / (z2m1(2)) = B_9;$$

$$\bar{z}_1(3) / \bar{Z}_3(3) \rightarrow (z1(3)) / (z3m1p(3)) = B_{10};$$

$$\bar{z}_2(3) / \bar{Z}_3(3) \rightarrow (z2m1(3)) / (z3m1p(3)) = B_{11};$$

$$\bar{z}_1(3) / \bar{z}_2(3) \rightarrow (z1(3)) / (z2m1(3)) = B_{12}$$

$$\bar{z}_1(4) / \bar{Z}_3(4) \rightarrow (z1(4)) / (z3m1p(4)) = B_{13};$$

$$\bar{z}_2(4) / \bar{Z}_3(4) \rightarrow (z2m1(4)) / (z3m1p(4)) = B_{14};$$

$$\bar{z}_1(4) / \bar{z}_2(4) \rightarrow (z1(4)) / (z2m1(4)) = B_{15}, \dots$$

$\left| \bar{z}_1(\mu_1) / \bar{Z}_3(\mu_1) \right| \rightarrow (z1M) / (z3m1pM) = B_1$
Для общего m -мерного случая символическое обозначение отношений векторов запишем в следующей компактной форме:

$$\bar{z}_i(\beta) / \bar{z}_j(\beta) \rightarrow (z_i(\beta)) / (z_jm1p(\beta)) = B_{ij}(\beta).$$

Здесь индексы i и j ($i, j = 1, 2, 3$) указывают номер вектора \bar{z}_i , а индекс β - координату вектора \bar{z}_i . Причем β принимает в m -мерном случае целочисленные значения ($\beta = 1, 2, 3, \dots, m$).

Благодаря введенным обозначениям алгоритм и соответствующая численная программа для системы (1) на языке Matlab будет представлена в виде

$$a1=[a11 a12 a13 a14..... a1\beta a1m]$$

$$a2=[a21 a22 a23 a24..... a2\beta a2m]$$

$$a3=[a31 a32 a33 a34..... a3\beta a3m]$$

$$m1k1=(m1)^*$$

$$m2k2=(m2)^*$$

$$a4(1)=a4(1)^*$$

$$\text{for } m1=J1:J2:J3$$

$$z1k1=a1+m1k1*(a2-a1);$$

$$m1k2=m1k1+m2k2*((a3-z1k1)*(a3-z1k1)')/((a3-z1k1)*(a2-a1)');$$

$$z1k2=a1+m1k2*(a2-a1);$$

$$z2k2=z1k1+(m1k2-m1k1)*((a3-z1k1)*(a2-a1)')/((a3-z1k1)*(a3-z1k1)')*(a3-z1k1);$$

$$\text{cosa12}=(z1k2-z1k1)*(z2k2-z1k1)'/(\text{sqrt}((z1k2-z1k1)*(z1k2-z1k1)')*\text{sqrt}((z2k2-z1k1)*(z2k2-z1k1)'));$$

$$A=(m1k1-m1k2)*(\text{sqrt}((a2-a1)*(a2-a1)')*\text{sqrt}((z1k1-a1)*(z1k1-a1)'))/(z1k2*(z1k1-a1)');$$

$$p1=m2k2/(m1k1-m1k2);$$

$$p2=(\text{sqrt}((z1k2-z1k1)*(z1k2-z1k1)')*\text{sqrt}((a3-z1k1)*(a3-z1k1)'))/(z1k2*(z1k2-z1k1)');$$

$$p3=(z1k2*(z1k1-a1)')/(\text{sqrt}((a2-a1)*(a2-a1)')*\text{sqrt}((z1k1-a1)*(z1k1-a1)'));$$

$$La2=p1*p2*p3;$$

$$w2=La2*\text{cosa12};$$

$$z2=z1k2*(1+A*(1+w2))$$

$$z1=a1+m1*(a2-a1)$$

$$z1M=\text{sqrt}((z1)*(z1)')$$

$$m2=(m1-m1k1)*(((a3-z1k1)*(a2-a1)')/((a3-z1k1)*(a3-z1k1)'))$$

$$Am1=(m1k1-m1)*(\text{sqrt}((a2-a1)*(a2-a1)')*\text{sqrt}((z1k1-a1)*(z1k1-a1)'))/(z1*(z1k1-a1)');$$

$$p1m1=m2/(m1k1-m1);$$

$$p2m1=(\text{sqrt}((z1-z1k1)*(z1-z1k1)')*\text{sqrt}((a3-z1k1)*(a3-z1k1)'))/(z1*(z1-z1k1)');$$

$$p3m1=(z1*(z1k1-a1)')/(\text{sqrt}((a2-a1)*(a2-a1)')*\text{sqrt}((z1k1-a1)*(z1k1-a1)'));$$

$$La2m1=p1m1*p2m1*p3m1;$$

$$w2m1=La2m1*\text{cosa12};$$

$$z2m1=z1*(1+Am1*(1+w2m1))$$

$$z2m1M=\text{sqrt}((z2m1)*(z2m1)')$$

$$a4(2)=z2k2(2)+[(a2(2)-a1(2))/(a2(1)-a1(1))]*(a4(1)-z2k2(1));$$

$$a4(3)=z2k2(3)+[(a2(3)-a1(3))/(a2(1)-a1(1))]*(a4(1)-z2k2(1));$$

$$a4(4)=z2k2(4)+[(a2(4)-a1(4))/(a2(1)-a1(1))]*(a4(1)-z2k2(1));$$

$$q1=[(a2-a1)*(a3-z1k1)']/[(a3-z1k1)*(a3-z1k1)'];$$

$$q2=((a3-z1k1)*(a4-z2k2)')/((a4-z2k2)*(a4-z2k2)');$$

$$m3=(m1-m1k2)*q1*q2$$

$$q3=(\text{sqrt}((z2m1-z2k2)*(z2m1-z2k2)')*\text{sqrt}((a4-z2k2)*(a4-z2k2)'))/(z1*(z2m1-z2k2)');$$

$$q4=[z1*(z1k1-a1)']/[\text{sqrt}((a2-a1)*(a2-a1)')*\text{sqrt}((z1k1-a1)*(z1k1-a1)')];$$

$$La3m=[m3/(m1k1-m1)]*q3*q4;$$

$$\text{cosa23}=(z2m1-z2k2)*(a4-z2k2)'/[\text{sqrt}((z2m1-z2k2)*(z2m1-z2k2)')*\text{sqrt}((a4-z2k2)*(a4-z2k2)')];$$

$$Am1p=(m1k1-m1)*(\text{sqrt}((a2-a1)*(a2-a1)')*\text{sqrt}((z1k1-a1)*(z1k1-a1)'))/(z1*(z1k1-a1)');$$

$$w3mp=La3m*\text{cosa23};$$

$$z3m1p=z1*[1+Am1p*(1+w2m1+w3mp)]$$

$$z3m1pM=\text{sqrt}((z3m1p)*(z3m1p)')$$

$$B1=(z1M)/(z3m1pM)$$

$$B2=(z2m1M)/(z3m1pM)$$

```

B3=(z1M)/(z2m1M)
B4=(z1(1))/(z3m1p(1))
B5=(z2m1(1))/(z3m1p(1))
B6=(z1(1))/(z2m1(1))
B7=(z1(2))/(z3m1p(2))
B8=(z2m1(2))/(z3m1p(2))
B9=(z1(2))/(z2m1(2))
B10=(z1(3))/(z3m1p(3))
B11=(z2m1(3))/(z3m1p(3))
B12=(z1(3))/(z2m1(3))
B13=(z1(4))/(z3m1p(4))
B14=(z2m1(4))/(z3m1p(4))
B15=(z1(4))/(z2m1(4))

```

```

Bij(β) = (zi(β))/(zjm1p(β))

```

```

end

```

Задаваясь статистическими данными векторов $\bar{a}_1, \bar{a}_2, \bar{a}_3, \bar{a}_4(1)$ и параметрами $\mu_1^{k_1}$ и $\mu_2^{k_2}$, с помощью вышепредложенной численной программы можно проводить глубокие исследования по многовариантному прогнозированию экономического события в условиях неопределенности на основе 2-звенной кусочно-линейной модели в m -мерном векторном пространстве.

В качестве примера рассмотрим случай с заданными статистическими векторами $\bar{a}_1, \bar{a}_2, \bar{a}_3, \bar{a}_4(1)$, а также параметрами $\mu_1^{k_1}$ и $\mu_2^{k_2}$:

```

a1=[1 1 1 1]
a2=[3 2 4.5 5]
a3=[6 4 7 6]
m1k1=1.5
m2k2=2
a4(1)=10

```

```

for m1=1,5:0,5:8

```

Данные табл. 1 и 2 позволяют провести глубокий количественный и качественный анализ по прогнозированию экономического события, т.е. численно отработать варианты прогнозных данных экономического состояния на последующем этапе, причем как по суммарным показателям в целом, т.е. по модулю векторов $|\bar{z}_1(\mu_1)|, |\bar{z}_2(\mu_1)|, |\bar{Z}_3(\mu_1)|$, так и по отдельным экономическим факторам, т.е. по координатам $\bar{z}_1(\mu_1), \bar{z}_2(\mu_1), \bar{Z}_3(\mu_1)$ векторов. Сверх этого имеется также возможность сопоставить прогнозные значения экономического события по трем критериям: 1) по результатам вычислений по линейному критерию; 2) по результатам вычислений

согласно продолжению точек 2-й кусочно-линейной вектор-функции; 3) по результатам вычислений вектор-функции с учетом влияния факторов неопределенности. Схема такого сопоставления прогнозируемых данных графически представлена на рисунке, а в численном виде в табл. 1 и 2. Здесь для любого значения произвольного параметра μ_1 , изменяющегося в интервале $\mu_1^{k_2} \leq \mu_1 \leq \mu_1^*$, имеем соответствующие численные значения: $|\bar{z}_1(\mu_1)|, |\bar{z}_2(\mu_1)|, |\bar{Z}_3(\mu_1)|, |\bar{z}_1(\mu_1)|, |\bar{z}_2(\mu_1)|, |\bar{Z}_3(\mu_1)|$.

Для наглядности в качестве примера примем значение параметра $\mu_1 = 6$.

Примем во внимание обозначения соответствующих отношений координат векторов $\bar{z}_1(\mu_1), \bar{z}_2(\mu_1), \bar{Z}_3(\mu_1)$ для $(i = 1, 2, 3, 4)$ в виде

$$n_{1i} = \frac{\bar{z}_1(i)}{\bar{Z}_3(i)} = \frac{x_{1i}}{X_{3i}}; \quad n_{2i} = \frac{\bar{z}_2(i)}{\bar{Z}_3(i)} = \frac{x_{2i}}{X_{3i}};$$

$$n_{3i} = \frac{\bar{z}_1(i)}{\bar{z}_2(i)} = \frac{x_{1i}}{x_{2i}}; \quad (2)$$

$$n_4 = \frac{|\bar{z}_1(\mu_1)|}{|\bar{Z}_3(\mu_1)|}; \quad n_5 = \frac{|\bar{z}_2(\mu_1)|}{|\bar{Z}_3(\mu_1)|}; \quad n_6 = \frac{|\bar{z}_1(\mu_1)|}{|\bar{z}_2(\mu_1)|}.$$

Согласно формулам (2) и табл. 1 и 2, численно установим соотношения координат векторов $\bar{z}_1(\mu_1)$ и $\bar{z}_2(\mu_1)$, т.е. x_{1i} и x_{2i} , от соответствующих координат прогнозирующей функции $\bar{Z}_3(\mu_1)$ с учетом влияния факторов неопределенности в виде

$$n_{11} = n_{12} = n_{13} = 2,8781; \quad (3)$$

$$n_{21} = n_{22} = n_{23} = 0,9618; \quad (4)$$

$$n_{31} = n_{32} = n_{33} = 2,9925; \quad (5)$$

$$n_4 = 2,8781, \quad n_5 = 0,9618, \quad n_6 = 2,9925. \quad (6)$$

Численное значение (3) показывает, что значения координат прогнозных величин, просчитанные по линейному критерию, в 2,8781 раза выше соответствующих прогнозных координат, просчитанных согласно вектор-функции с учетом влияния факторов неопределенности.

Численное значение (4) показывает, что значения координат прогнозных величин, просчитанные с помощью 2-й кусочно-линейной вектор-функции, составляют 0,9618 части от значений соответствующих прогнозных координат,

Таблица 1. Численные значения модулей и соответствующих координат прогнозируемых точек-векторов при различных значениях параметров $5,2879 \leq \mu_1 \leq 8$ и $0 \leq \mu_3 \leq 0,1777$ в 4-векторном мерном пространстве

№ п/п	Численные значения векторов $\vec{z}_1, \vec{z}_2, \vec{z}_3$ и их модулей	μ_1	μ_2	μ_3
1	2	3	4	5
1	$\vec{z}_1(\mu_1)=[11,5758 \ 6,2879 \ 19,5076 \ 22,1516]$ $\vec{z}_2(\mu_1)=[4,2635 \ 2,3159 \ 7,1849 \ 8,1587]$ $\vec{z}_3(\mu_1)=[4,2635 \ 2,3159 \ 7,1849 \ 8,1587]$ $ \vec{z}_1(\mu_1) =32,3230$ $ \vec{z}_2(\mu_1) =11,9050$ $ \vec{z}_3(\mu_1) =11,9050$	5,2879	2	0
2	$\vec{z}_1(\mu_1)=[12 \ 6,5 \ 20,25 \ 23]$ $\vec{z}_2(\mu_1)=[4,2872 \ 2,3223 \ 7,2347 \ 8,2172]$ $\vec{z}_3(\mu_1)=[4,2405 \ 2,2969 \ 7,1558 \ 8,1276]$ $ \vec{z}_1(\mu_1) =33,5457$ $ \vec{z}_2(\mu_1) =11,9848$ $ \vec{z}_3(\mu_1) =11,8541$	5,5	2,1120	0,0139
3	$\vec{z}_1(\mu_1)=[13 \ 7 \ 22 \ 25]$ $\vec{z}_2(\mu_1)=[4,3442 \ 2,3392 \ 7,3518 \ 8,3543]$ $\vec{z}_3(\mu_1)=[4,5169 \ 2,4322 \ 7,6441 \ 8,6864]$ $ \vec{z}_1(\mu_1) =36,4280$ $ \vec{z}_2(\mu_1) =12,1732$ $ \vec{z}_3(\mu_1) =12,6572$	6	2,3760	0,0466
4	$\vec{z}_1(\mu_1)=[14 \ 7,5 \ 23,75 \ 27]$ $\vec{z}_2(\mu_1)=[4,4025 \ 2,3585 \ 7,4685 \ 8,4905]$ $\vec{z}_3(\mu_1)=[4,6178 \ 2,4738 \ 7,8337 \ 8,9057]$ $ \vec{z}_1(\mu_1) =39,3105$ $ \vec{z}_2(\mu_1) =12,3617$ $ \vec{z}_3(\mu_1) =12,9662$	6,5	2,6400	0,0794
5	$\vec{z}_1(\mu_1)=[15 \ 8 \ 25,5 \ 29]$ $\vec{z}_2(\mu_1)=[4,4617 \ 2,3796 \ 7,5849 \ 8,6260]$ $\vec{z}_3(\mu_1)=[4,7356 \ 2,5256 \ 8,0505 \ 9,1555]$ $ \vec{z}_1(\mu_1) =42,1930$ $ \vec{z}_2(\mu_1) =12,5502$ $ \vec{z}_3(\mu_1) =13,3206$	7	2,9040	0,1122

просчитанных согласно вектор-функции с учетом влияния факторов неопределенности.

Численное значение (5) показывает, что значения координат прогнозных величин, просчитанные по линейному критерию, в 2,9925 раза

выше соответствующих прогнозных координат, просчитанных с помощью 2-й кусочно-линейной вектор-функции.

Численные значения (6) указывают на процентное соотношение суммарных показателей

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
6	$\bar{z}_1(\mu_1)=[16\ 8,5\ 27,25\ 31]$ $\bar{z}_2(\mu_1)=[4,5217\ 2,4022\ 7,7011\ 8,7609]$ $\bar{Z}_3(\mu_1)=[4,8575\ 2,580\ 8,2729\ 9,4114]$ $ \bar{z}_1(\mu_1) =45,0756$ $ \bar{z}_2(\mu_1) =12,7388$ $ \bar{Z}_3(\mu_1) =13,6846$	7,5	3,1680	0,1449
7	$\bar{z}_1(\mu_1)=[17\ 9\ 29\ 33]$ $\bar{z}_2(\mu_1)=[4,5824\ 2,4260\ 7,8171\ 8,8953]$ $\bar{Z}_3(\mu_1)=[4,9813\ 2,6372\ 8,4975\ 9,6696]$ $ \bar{z}_1(\mu_1) =47,9583$ $ \bar{z}_2(\mu_1) =12,9274$ $ \bar{Z}_3(\mu_1) =14,0526$	8	3,4320	0,1777

Таблица 2. Численные значения отношений модулей и соответствующих координат прогнозируемых точек-векторов при различных значениях параметров $5,2879 \leq \mu_1 \leq 8$ и $0 \leq \mu_3 \leq 0,1777$ в 4-векторном мерном пространстве

1	2	3	4
$\mu_1 = 5,2879$ $\mu_2 = 2$ $\mu_3 = 0$	$ \bar{z}_1(\mu_1) / \bar{Z}_3(\mu_1) $ ----- 2,7150	$ \bar{z}_2(\mu_1) / \bar{Z}_3(\mu_1) $ ----- 1	$ \bar{z}_1(\mu_1) / \bar{z}_2(\mu_1) $ ----- 2,7150
	$\bar{z}_1(1) / \bar{Z}_3(1)$ ----- 2,7150	$\bar{z}_2(1) / \bar{Z}_3(1)$ ----- 1	$\bar{z}_1(1) / \bar{z}_2(1)$ ----- 2,7150
	$\bar{z}_1(2) / \bar{Z}_3(2)$ ----- 2,7150	$\bar{z}_2(2) / \bar{Z}_3(2)$ ----- 1	$\bar{z}_1(2) / \bar{z}_2(2)$ ----- 2,7150
	$\bar{z}_1(3) / \bar{Z}_3(3)$ ----- 2,7150	$\bar{z}_2(3) / \bar{Z}_3(3)$ ----- 1	$\bar{z}_1(3) / \bar{z}_2(3)$ ----- 2,7150
	$\bar{z}_1(4) / \bar{Z}_3(4)$ ----- 2,7150	$\bar{z}_2(4) / \bar{Z}_3(4)$ ----- 1	$\bar{z}_1(4) / \bar{z}_2(4)$ ----- 2,7150
$\mu_1 = 5,5$ $\mu_2 = 2,112$ $\mu_3 = 0,0139$	$ \bar{z}_1(\mu_1) / \bar{Z}_3(\mu_1) $ ----- 2,8299	$ \bar{z}_2(\mu_1) / \bar{Z}_3(\mu_1) $ ----- 1,0110	$ \bar{z}_1(\mu_1) / \bar{z}_2(\mu_1) $ ----- 2,7990
	$\bar{z}_1(1) / \bar{Z}_3(1)$ ----- 2,8299	$\bar{z}_2(1) / \bar{Z}_3(1)$ ----- 1,0110	$\bar{z}_1(1) / \bar{z}_2(1)$ ----- 2,7990
	$\bar{z}_1(2) / \bar{Z}_3(2)$ ----- 2,8299	$\bar{z}_2(2) / \bar{Z}_3(2)$ ----- 1,0110	$\bar{z}_1(2) / \bar{z}_2(2)$ ----- 2,7990
	$\bar{z}_1(3) / \bar{Z}_3(3)$ ----- 2,8299	$\bar{z}_2(3) / \bar{Z}_3(3)$ ----- 1,0110	$\bar{z}_1(3) / \bar{z}_2(3)$ ----- 2,7990
	$\bar{z}_1(4) / \bar{Z}_3(4)$ ----- 2,8299	$\bar{z}_2(4) / \bar{Z}_3(4)$ ----- 1,0110	$\bar{z}_1(4) / \bar{z}_2(4)$ ----- 2,7990

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
$\mu_1 = 6$ $\mu_2 = 2,3760$ $\mu_3 = 0,0466$	$ \bar{z}_1(\mu_1) / \bar{Z}_3(\mu_1) $ ----- 2,8781	$ \bar{z}_2(\mu_1) / \bar{Z}_3(\mu_1) $ ----- 0,9618	$ \bar{z}_1(\mu_1) / \bar{z}_2(\mu_1) $ ----- 2,9925
	$\bar{z}_1(1) / \bar{Z}_3(1)$ ----- 2,8781	$\bar{z}_2(1) / \bar{Z}_3(1)$ ----- 0,9618	$\bar{z}_1(1) / \bar{z}_2(1)$ ----- 2,9925
	$\bar{z}_1(2) / \bar{Z}_3(2)$ ----- 2,8781	$\bar{z}_2(2) / \bar{Z}_3(2)$ ----- 0,9618	$\bar{z}_1(2) / \bar{z}_2(2)$ ----- 2,9925
	$\bar{z}_1(3) / \bar{Z}_3(3)$ ----- 2,8781	$\bar{z}_2(3) / \bar{Z}_3(3)$ ----- 0,9618	$\bar{z}_1(3) / \bar{z}_2(3)$ ----- 2,9925
	$\bar{z}_1(4) / \bar{Z}_3(4)$ ----- 2,8781	$\bar{z}_2(4) / \bar{Z}_3(4)$ ----- 0,9618	$\bar{z}_1(4) / \bar{z}_2(4)$ ----- 2,9925
$\mu_1 = 6,5$ $\mu_2 = 2,64$ $\mu_3 = 0,0794$	$ \bar{z}_1(\mu_1) / \bar{Z}_3(\mu_1) $ ----- 3,0318	$ \bar{z}_2(\mu_1) / \bar{Z}_3(\mu_1) $ ----- 0,9534	$ \bar{z}_1(\mu_1) / \bar{z}_2(\mu_1) $ ----- 3,1800
	$\bar{z}_1(1) / \bar{Z}_3(1)$ ----- 3,0318	$\bar{z}_2(1) / \bar{Z}_3(1)$ ----- 0,9534	$\bar{z}_1(1) / \bar{z}_2(1)$ ----- 3,1800
	$\bar{z}_1(2) / \bar{Z}_3(2)$ ----- 3,0318	$\bar{z}_2(2) / \bar{Z}_3(2)$ ----- 0,9534	$\bar{z}_1(2) / \bar{z}_2(2)$ ----- 3,1800
	$\bar{z}_1(3) / \bar{Z}_3(3)$ ----- 3,0318	$\bar{z}_2(3) / \bar{Z}_3(3)$ ----- 0,9534	$\bar{z}_1(3) / \bar{z}_2(3)$ ----- 3,1800
	$\bar{z}_1(4) / \bar{Z}_3(4)$ ----- 3,0318	$\bar{z}_2(4) / \bar{Z}_3(4)$ ----- 0,9534	$\bar{z}_1(4) / \bar{z}_2(4)$ ----- 3,1800
$\mu_1 = 7$ $\mu_2 = 2,904$ $\mu_3 = 0,1122$	$ \bar{z}_1(\mu_1) / \bar{Z}_3(\mu_1) $ ----- 3,1675	$ \bar{z}_2(\mu_1) / \bar{Z}_3(\mu_1) $ ----- 0,9422	$ \bar{z}_1(\mu_1) / \bar{z}_2(\mu_1) $ ----- 3,3619
	$\bar{z}_1(1) / \bar{Z}_3(1)$ ----- 3,1675	$\bar{z}_2(1) / \bar{Z}_3(1)$ ----- 0,9422	$\bar{z}_1(1) / \bar{z}_2(1)$ ----- 3,3619
	$\bar{z}_1(2) / \bar{Z}_3(2)$ ----- 3,1675	$\bar{z}_2(2) / \bar{Z}_3(2)$ ----- 0,9422	$\bar{z}_1(2) / \bar{z}_2(2)$ ----- 3,3619
	$\bar{z}_1(3) / \bar{Z}_3(3)$ ----- 3,1675	$\bar{z}_2(3) / \bar{Z}_3(3)$ ----- 0,9422	$\bar{z}_1(3) / \bar{z}_2(3)$ ----- 3,3619
	$\bar{z}_1(4) / \bar{Z}_3(4)$ ----- 3,1675	$\bar{z}_2(4) / \bar{Z}_3(4)$ ----- 0,9422	$\bar{z}_1(4) / \bar{z}_2(4)$ ----- 3,3619

Окончание табл. 2

1	2	3	4
$\mu_1 = 7,5$ $\mu_2 = 3,168$ $\mu_3 = 0,1449$	$ \bar{z}_1(\mu_1) / \bar{Z}_3(\mu_1) $ ----- 3,2939	$ \bar{z}_2(\mu_1) / \bar{Z}_3(\mu_1) $ ----- 0,9309	$ \bar{z}_1(\mu_1) / \bar{z}_2(\mu_1) $ ----- 3,5385
	$\bar{z}_1(1) / \bar{Z}_3(1)$ ----- 3,2939	$\bar{z}_2(1) / \bar{Z}_3(1)$ ----- 0,9309	$\bar{z}_1(1) / \bar{z}_2(1)$ ----- 3,5385
	$\bar{z}_1(2) / \bar{Z}_3(2)$ ----- 3,2939	$\bar{z}_2(2) / \bar{Z}_3(2)$ ----- 0,9309	$\bar{z}_1(2) / \bar{z}_2(2)$ ----- 3,5385
	$\bar{z}_1(3) / \bar{Z}_3(3)$ ----- 3,2939	$\bar{z}_2(3) / \bar{Z}_3(3)$ ----- 0,9309	$\bar{z}_1(3) / \bar{z}_2(3)$ ----- 3,5385
	$\bar{z}_1(4) / \bar{Z}_3(4)$ ----- 3,2939	$\bar{z}_2(4) / \bar{Z}_3(4)$ ----- 0,9309	$\bar{z}_1(4) / \bar{z}_2(4)$ ----- 3,5385
$\mu_1 = 8$ $\mu_2 = 3,432$ $\mu_3 = 0,1777$	$ \bar{z}_1(\mu_1) / \bar{Z}_3(\mu_1) $ ----- 3,4128	$ \bar{z}_2(\mu_1) / \bar{Z}_3(\mu_1) $ ----- 0,9199	$ \bar{z}_1(\mu_1) / \bar{z}_2(\mu_1) $ ----- 3,7098
	$\bar{z}_1(1) / \bar{Z}_3(1)$ ----- 3,4128	$\bar{z}_2(1) / \bar{Z}_3(1)$ ----- 0,9199	$\bar{z}_1(1) / \bar{z}_2(1)$ ----- 3,7098
	$\bar{z}_1(2) / \bar{Z}_3(2)$ ----- 3,4128	$\bar{z}_2(2) / \bar{Z}_3(2)$ ----- 0,9199	$\bar{z}_1(2) / \bar{z}_2(2)$ ----- 3,7098
	$\bar{z}_1(3) / \bar{Z}_3(3)$ ----- 3,4128	$\bar{z}_2(3) / \bar{Z}_3(3)$ ----- 0,9199	$\bar{z}_1(3) / \bar{z}_2(3)$ ----- 3,7098
	$\bar{z}_1(4) / \bar{Z}_3(4)$ ----- 3,4128	$\bar{z}_2(4) / \bar{Z}_3(4)$ ----- 0,9199	$\bar{z}_1(4) / \bar{z}_2(4)$ ----- 3,7098

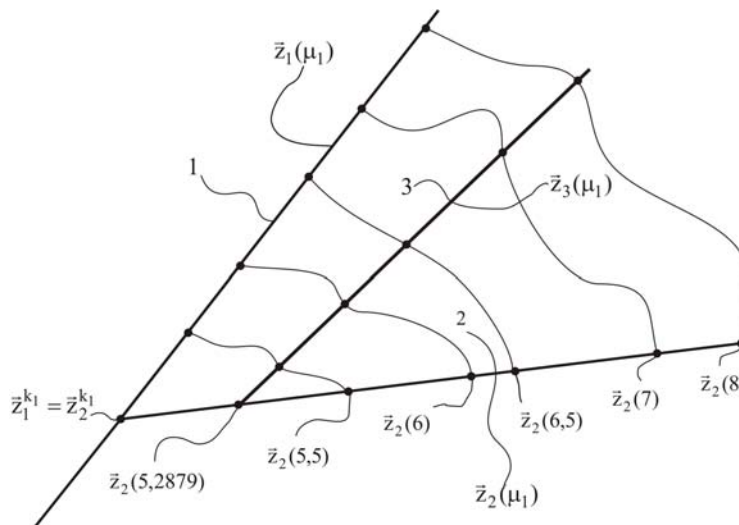


Рис. График численных значений модулей и соответствующих координат прогнозируемых точек-векторов при различных значениях параметров $5,2879 \leq \mu_1 \leq 8$ и $0 \leq \mu_3 \leq 0,1777$, вычисленных по разным критериям в 4-мерном пространстве

вектор-функций, т.е. по модулю векторов $|\bar{z}_1(\mu_1)|$, $|\bar{z}_2(\mu_1)|$, $|\bar{Z}_3(\mu_1)|$, просчитанных по разным критериям.

С помощью численных данных табл. 1 несложно также установить зависимость координат прогнозирующей вектор-функции в зависимости от параметра μ_1 , т.е. $\bar{z}_1(i) \sim \mu_1$, $\bar{z}_2(i) \sim \mu_1$ и $\bar{Z}_3(i) \sim \mu_1$.

¹ См.: Багриновский К.А., Матюшок В.М. Экономико-математические методы и модели. М., 1999; Терехов Л.Л. Экономико-математические методы. М., 1972; Макаров В.Л., Рубинов А.М., Левин М.И. Математические модели экономического взаимодействия. М., 1993; Албегов М.М. Краткосрочное прогнозирование в условиях неполной информации // Региональное развитие и экономическое сотрудничество. 1997. □ 1; Метод учета влияния разнородных факторов в экономических измерениях / Т.К. Богданова [и др.] // Экономика и мат. методы. 1997. Т. 33. □ 1; Канторович А.В., Крылов В.И. Приближенные методы высшего анализа. М., 1962; Халмош П.Р. Конечноемерное векторное пространство. М., 1963; Бугров Я.С. Никольский С.М. Элементы линейной алгебры и аналитической геометрии. М., 1980; Беллман Р., Заде Л. Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М., 1976.

² См.: Алиев А.Г. Экономико-математические методы и модели в условиях неопределенности в конечномерном векторном пространстве. Баку, 2009; Его же. Об одном критерии определенности экономического процесса в конечномерном векторном пространстве // Экономика, статистика и информатика: Вестн. УМО. 2008. □ 2; Его же. Кусочно-линейные экономико-ма-

тематические модели с учетом неопределенности в конечномерном векторном пространстве // Экономика, статистика и информатика: Вестн. УМО. 2008. □ 3; Его же. Об одном принципе прогнозирования и управления экономических процессов с учетом фактора неопределенности в конечномерном векторном пространстве // Экономика, статистика и информатика: Вестн. УМО. 2008. □ 4; Его же. Двухзвенная кусочно-линейная экономико-математическая модель и методика прогнозирования экономического процесса в условиях неопределенности в трехмерном векторном пространстве // Проблемы экономики. 2009. □ 2.

³ См.: Алиев А.Г. Разработка программного обеспечения для компьютерного модулирования прогноза экономического события с помощью кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом влияния неучтенных факторов на плоскости // Экономика, статистика и информатика: Вестн. УМО. 2009. □ 4; Его же. Разработка программного обеспечения для численного построения кусочно-линейных экономико-математических моделей с учетом влияния неучтенных факторов на плоскости // Вопр. экон. наук. 2009. □ 5.

⁴ Алиев А.Г. Экономико-математические методы...

⁵ См.: Алиев А.Г. Разработка программного обеспечения для компьютерного модулирования 2-звенной кусочно-линейной экономико-математической модели с учетом влияния факторов неопределенности в m -мерном векторном пространстве // Естественные и технические науки. 2010. □ 2; Его же. Разработка программного обеспечения для компьютерного модулирования 2-звенной кусочно-линейной экономико-математической модели с учетом влияния факторов неопределенности в трехмерном векторном пространстве // Экон. науки. 2010. □ 3.

⁶ См.: Там же; Его же. Об одном критерии...; Его же. Кусочно-линейные...; Его же. Об одном принципе...; Его же. Двухзвенная...

Поступила в редакцию 06.04.2010 г.