

## Анализ результатов деятельности предприятий по обеспечению качества машиностроительной продукции

*А.Г. Ивахненко, О.В. Аникеева*

*Юго-Западный государственный университет, Курск*

**Аннотация:** С использованием конечных разностей выполнен переход от дифференциального уравнения второго порядка к разностному уравнению для описания динамики интегрального показателя качества продукции. Определены соотношения между коэффициентами разностного уравнения динамики качества и уравнения авторегрессии второго порядка для интегрального показателя качества. На основе экспериментальных данных по динамике интегрального показателя качества обоснована адекватность его описания линейным дифференциальным уравнением второго порядка, а также связанных с ним линейным разностным уравнением и уравнением авторегрессии. Выполнен анализ результатов деятельности трех российских предприятий по обеспечению качества производимых ими троллейбусов с использованием обобщенного аналога коэффициента чувствительности, отношения средней величины управляющего воздействия к его размаху и коэффициента пульсации. Рассмотрена связь результатов деятельности этих предприятий с их дальнейшим жизненным циклом.

**Ключевые слова:** динамика качества, метод конечных разностей, авторегрессия, интегральный показатель качества.

### Введение

К основным показателям деятельности промышленных предприятий относятся показатели качества выпускаемой ими продукции, в самой общей форме представляемые значениями интегрального показателя качества (ИПК) и его изменением во времени. Для повышения и обеспечения качества продукции используют различные методы, средства и инструменты [1, 2] в зависимости от выбранного направления, исполнителей и актуальных тенденций в управлении качеством. При исследованиях в области динамики качества в работе [3] была предложена математическая модель для ИПК продукции в виде дифференциального уравнения второго порядка.

В основе управления качеством лежит принятие решений, основанных на фактах, а исходные данные подвергаются обработке с использованием различных методов. Для представления и исследования временных зависимостей широкое применение получили модели авторегрессии [4].

Основной идеей представленной статьи является установление связи между коэффициентами дифференциального уравнения динамики качества и уравнения авторегрессии 2-го порядка для анализа и прогнозирования изменения ИПК продукции различными подразделениями, применяющими наиболее подходящие для них методы.

Задачей данной работы является анализ результатов деятельности предприятий по обеспечению качества продукции на основе соответствий коэффициентов разностного уравнения динамики качества и уравнения авторегрессии 2-го порядка с экспериментальными данными по изменению интегрального показателя качества продукции во времени.

### **Модели динамики интегрального показателя качества продукции**

Пусть имеются измерения последовательности значений ИПК, выполненные в  $n$  точках, с постоянной дискретностью  $\Delta t$ , которые образуют временной ряд  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Для этих измерений авторегрессионная модель  $AR(l)$  порядка  $l$  с постоянными коэффициентами вида имеет вид:

$$x_t = a_0 + \sum_{i=1}^l a_i x_{t-i} + \varepsilon_t, \quad (1)$$

где  $a_0$  – среднее значение ИПК;  $a_i$  – постоянные коэффициенты;  $l$  – лаг модели;  $t$  – дискретное время,  $t = 1, 2, \dots, n$ ;  $\varepsilon_t$  – практически белый шум.

Связь между соотношением (1) и обыкновенным разностным уравнением была раскрыта в работах [5, 6], в которых этому выражению была поставлена в соответствие некоторая динамическая система. В указанных работах сложность проблемы перехода от авторегрессии к обыкновенному разностному уравнению авторы связали с существенным отличием классов задач, решаемых этими методами, а также с различными теоретическими основами, используемыми при их построении и использовании.

---

Непосредственный переход от дифференциального уравнения колебаний механической системы к уравнению авторегрессии был рассмотрен в работе [7] на основе установленной статистической эквивалентности процесса  $AR(2)$  случайным колебаниям с использованием их характеристических уравнений. Однако в работе [7] была определена не непосредственная связь между коэффициентами этих уравнений, а связь между частотой собственных колебаний и логарифмическим декрементом с коэффициентами  $a_1$  и  $a_2$ .

Один из подходов к исследованию динамики качества процессов и продукции основан на использовании механических аналогий [8, 9]. Для описания детерминированного изменения интегрального показателя качества  $x(t)$  во времени было предложено дифференциальное уравнение [10], которое в линейной форме имеет следующий вид:

$$m\ddot{x} + h\dot{x} + cx = F(t), \quad (2)$$

где коэффициенты  $m$ ,  $h$ ,  $c$  отражают:  $m$  – конструктивно-технологическую сложность продукции;  $h$  – сопротивление изменениям качества продукции;  $c$  – потенциал предприятия;  $F(t)$  – воздействие потребителей и других заинтересованных сторон, вынуждающее изменять качество.

В пространстве состояний [11] уравнению (2) будет соответствовать система уравнений

$$\dot{X} = AX + BU, \quad (3)$$

где  $X = (x_1, x_2)^T$  – вектор переменных состояния,  $x_1 \equiv x$ ,  $x_2 \equiv dx/dt$ ;  $A$  – матрица собственных свойств системы;  $B$  – матрица коэффициентов управления;  $U$  – вектор управления;

или в развернутом виде

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -c_m & -h_m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{m} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ F(t) \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где  $c_m$  – приведенный коэффициент сопротивления  $c_m = c/m$ ;  $h_m$  – приведенный коэффициент потенциала  $h_m = h/m$ .

Переход от обыкновенных дифференциальных уравнений к обыкновенным разностным уравнениям основан на замене значений производных конечными разностями [5-7, 12]. Используя схему Эйлера для производной  $dx/dt$ , т.е. выражение  $x_1[k+1] = x_1[k] + \tau x_2[k]$ , и выбрав шаг дискретизации  $\tau = 1$ , выполним дискретизацию системы (4):

$$\begin{pmatrix} x_1[k+1] \\ x_2[k+1] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -c_m & 1-h_m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1[k] \\ x_2[k] \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{m} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ F(k) \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Выражение (5) определяет детерминированную линейную управляемую систему с дискретным временем, исследование которой представляет самостоятельный интерес в дискретном управлении при задании ступенчатых изменений  $F(k)$ . Здесь же из (5) получим дискретный аналог уравнения (2), который, конечно, можно было получить из него и непосредственно с использованием конечных разностей 2-го порядка:

$$x[k+2] = (2-h_m)x[k+1] + (-1-c_m+h_m)x[k] + \frac{1}{m}F[k]. \quad (6)$$

Представим уравнение (6) в стандартном виде (1) модели AP(2):

$$x_t = (2-h_m)x_{t-1} + (-1-c_m+h_m)x_{t-2} + \frac{1}{m}F_t. \quad (7)$$

Отметим принципиальное различие между схожими выражениями (1) и (7), которое обусловлено различием в подходах к их построению. В выражении (1) составляющая  $\varepsilon_t$  рассматривается как шум (помеха), а в выражении (7) составляющая  $F(t)$  является детерминированной величиной (управляющим воздействием). Более глубокое рассмотрение связи между этими составляющими в дальнейшем целесообразно проводить с использованием концепций скрытого управления [13] и управления хаосом [14].

Из выражений (1) и (7) следует прямая связь между коэффициентами моделей AP(2) и динамики интегрального показателя качества (2) и (4)

$$a_1 = 2 - h_m, a_2 = -1 - c_m + h_m, \quad (8)$$

$$h_m = 2 - a_1, c_m = 1 - a_1 - a_2. \quad (9)$$

В случае, если  $F(t)$  будет содержать некоторую постоянную составляющую  $F_0$ , то очевидно, что  $a_0 = F_0/m$ .

Установленные связи между коэффициентами (8) и (9) позволяют выполнять идентификацию параметров модели (4) по экспериментальным данным с использованием различных статистических пакетов.

В работе [15] на основе фактических данных об изменении ИПК (ИПК  $\in [0,1]$ ) продукции за 2013-2015 годы, представленных в табл. 1, были рассмотрены теоретические и прикладные вопросы, связанные с применением инструментов экономического стимулирования для обеспечения качества продукции на трех российских предприятиях, производящих троллейбусы.

Таблица № 1

## Динамика ИПК троллейбусов (адаптировано из [15])

Отчетный период		Предприятие / доля рынка		
Год	Квартал	ЗАО ЛАЗ / 4,7%	ЗАО Тролза / 40,7%	ОАО БТЗ / 5,3%
2013	1	0,51	0,55	0,72
	2	0,50	0,60	0,75
	3	0,52	0,63	0,79
	4	0,54	0,65	0,81
2014	1	0,58	0,66	0,80
	2	0,60	0,68	0,78
	3	0,65	0,64	0,76
	4	0,64	0,62	0,72
2015	1	0,63	0,61	0,70
	2	0,62	0,59	0,67
	3	0,65	0,57	0,64
	4	0,67	0,55	0,60
Среднее значение		0,59	0,61	0,73

Примечание. Форма собственности и названия соответствуют [15]: ЗАО ЛАЗ – «Ликийский автобусный завод», «ЛиАЗ» (г. Ликино), ЗАО Тролза – ЗАО «Троллейбусный завод» (г. Энгельс), ОАО БТЗ – «Башкирский троллейбусный завод» (г. Уфа)

В табл. 2 представлены различные виды полученных моделей авторегрессии по данным табл. 1.

Таблица № 2

## Модели авторегрессии ИПК

Предприятие	Модели / $R^2$ (коэффициент детерминации)		
	$x_t = a_0 + a_1x_{t-1}$	$x_t = a_0 + a_2x_{t-2}$	$x_t = a_0 + a_1x_{t-1} + a_2x_{t-2}$
ЗАО ЛАЗ	$x_t = 0,0622 + 0,9186x_{t-1}$ $R^2 = 0,8661$	$x_t = 0,1957 + 0,7155x_{t-2}$ $R^2 = 0,68$	$x_t = 0,1222 + 0,9674x_{t-1} - 0,1482x_{t-2}$ $R^2 = 0,8614$
ЗАО Тролза	$x_t = 0,1529 + 0,7527x_{t-1}$ $R^2 = 0,57$	$x_t = 0,4206 + 0,32x_{t-2}$ $R^2 = 0,0875$	$x_t = 0,0774 + 1,44x_{t-1} - 0,5736x_{t-2}$ $R^2 = 0,8224$
ОАО БТЗ	$x_t = -0,1326 + 1,1646x_{t-1}$ $R^2 = 0,8536$	$x_t = -0,1081 + 1,1134x_{t-2}$ $R^2 = 0,503$	$x_t = 0,0319 + 1,8042x_{t-1} - 0,8582x_{t-2}$ $R^2 = 0,9655$

Из табл. 2 видно, что модели AP(2) для всех предприятий имеют приемлемые значения коэффициентов детерминации для их дальнейшего рассмотрения.

Значения корней характеристического уравнения ( $1 - a_1\lambda - a_2\lambda^2 = 0$ ) для этих моделей равны: 1) ЗАО ЛАЗ  $\lambda_1 = 1,2877$  и  $\lambda_2 = 5,2399$ ; 2) ЗАО Тролза  $\lambda_{1,2} = 1,2552 \pm 0,4096i$ ; 3) ОАО БТЗ  $\lambda_{1,2} = 1,0512 \pm 0,2456i$ , что означает стационарность процессов изменения ИПК продукции для всех предприятий, так как  $|\lambda_1| > 1$ ,  $|\lambda_2| > 1$ . Характеристическое уравнение для моделей (2) и (4) имеет вид  $\gamma^2 + h_m\gamma + c_m = 0$ , а условие устойчивости  $-|\gamma_1| < 1$ ,  $|\gamma_2| < 1$  выполняется, поскольку  $\gamma_{1,2} = 1/\lambda_{1,2}$ . Здесь значения корней равны: 1) ЗАО ЛАЗ  $\gamma_1 = 0,7766$  и  $\gamma_2 = 0,1908$ ; 2) ЗАО Тролза  $\gamma_{1,2} = 0,72 \pm 0,235i$ ; 3) ОАО БТЗ  $\gamma_{1,2} = 0,9021 \pm 0,2108i$ . Таким образом, системы менеджмента качества всех трех предприятий находятся в устойчивых состояниях.

Используя связи (9), определим составляющие матрицы A в (3): 1) ЗАО ЛАЗ  $c_m = 1,0326$ ,  $h_m = 0,1808$ ; 2) ЗАО Тролза  $c_m = 0,56$ ,  $h_m = 0,1336$ ; 3) ОАО БТЗ  $c_m = 0,1958$ ,  $h_m = 0,054$ . Рассмотренные выше условия устойчивости для

параметров уравнений (2) и (4) имеют вид  $c_m > 0$ ,  $h_m > 0$ , которые также выполняются.

### **Анализ результатов деятельности предприятий на основе построенных моделей**

Рассмотрим возможности использования параметров уравнений (2) и (4) и их полученных значений для рассмотрения результатов деятельности предприятий, в основе которых лежит только одно допущение об одинаковой конструктивно-технологической сложности продукции для этих предприятий, то есть коэффициента  $m$ , основанное на том, что продукция этих предприятий является конкурентоспособной и имеет близкие технические характеристики.

По принятому смыслу параметров исходной модели (2), желательно, чтобы для каждого предприятия они имели минимальные значения:

1) конструктивно-технологическая сложность продукции ( $m \rightarrow \min$ ), то есть  $m \rightarrow 0$ , при этом  $m \neq 0$ , поскольку для модели (4) используются параметры  $h_m$  и  $c_m$ , а также отношение  $1/m$ ;

2) сопротивление изменениям качества продукции ( $h \rightarrow \min$ ), то есть  $h \rightarrow 0$ , при этом  $h \neq 0$ ;

3) потенциал предприятия выражается через отношение  $1/c$ , ( $c \rightarrow \min$ ), то есть  $c \rightarrow 0$ , при этом  $c \neq 0$ .

Неравенство  $h \neq 0$  связано со снижением колебаний ИПК в установившемся состоянии всех взаимосвязанных подсистем предприятия и отсутствии изменений во внешней среде. При разработке нелинейных моделей динамики качества желательна несимметричная характеристика скоростной связи, обеспечивающая малое сопротивление при положительных скоростях изменения ИПК, и большое сопротивление при отрицательных скоростях. Для нелинейных моделей статики и динамики также желательна несимметричная характеристика позиционной связи с

малым сопротивлением при повышении ИПК, и большим сопротивлением при его снижении. Конечно, эти характеристики нужны для адекватного описания практической деятельности предприятий, а не для самих моделей. Неравенства  $m \neq 0$  и  $c \neq 0$  обоснованы также тем, чтобы, например, высокотехнологичные предприятия не занимались выпуском продукции широкого потребления, как это было при конверсии оборонных предприятий в период перестройки.

С учетом принятого допущения об одинаковой конструктивно-технологической сложности продукции для всех рассматриваемых предприятий  $m = \text{const}$ , для модели (4) желательно выполнение отношений:  $h_m \rightarrow \min$  и  $c_m \rightarrow \min$ . Проведем ранжирование предприятий по введенным правилам, вместе со средними значениями ИПК:

I. ОАО БТЗ  $h_m = 0,054$ ,  $c_m = 0,1958$ , ИПК = 0,73.

II. ЗАО Тролза  $h_m = 0,1336$ ,  $c_m = 0,56$ , ИПК = 0,61.

III. ЗАО ЛАЗ  $h_m = 0,1808$ ,  $c_m = 1,0326$ , ИПК = 0,59.

Отметим, что результаты ранжирования на основе отношений  $h_m$  и  $c_m$  и средних значений ИПК совпадают.

Преобразуем уравнения (7) и (1) для определения значений  $F_t$  (приняв  $m = 1$ ) и  $\varepsilon_t$ :

$$F_t = x_t + (h_m - 2)x_{t-1} + (1 + c_m - h_m)x_{t-2}, \quad (10)$$

$$\varepsilon_t = x_t - a_0 - \sum_{i=1}^l a_i x_{t-i}. \quad (11)$$

Используя данные табл. 1 по выражениям (10) и (11), определим значения управляющих воздействий  $F_t$  и шума  $\varepsilon_t$ , которые представлены в табл. 3, причем здесь шум понимается как мера отклонения фактического значения ИПК от значения ИПК, определяемого только членами с коэффициентами  $a_0$ ,  $a_1$  и  $a_2$  в модели AP(2).



Таблица № 3

Значения управляющих воздействий и шума

ЗАО ЛАЗ	2013				2014				2015			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
ИПК	0,51	0,50	0,52	0,54	0,58	0,60	0,65	0,64	0,63	0,62	0,65	0,67
$F_t$	0,112	0,111	0,135	0,119	<b>0,156</b>	0,1	0,107	0,105	0,144	0,133	–	–
$\varepsilon_t$	–	–	–0,01	–0,011	0,012	–0,003	0,033	–0,022	–0,015	–0,017	0,021	0,011
ЗАО Тролза	2013				2014				2015			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
ИПК	0,55	0,60	0,63	0,65	0,66	0,68	0,64	0,62	0,61	0,59	0,57	0,55
$F_t$	0,081	0,087	0,085	<b>0,102</b>	0,039	0,088	0,084	0,067	0,07	0,068	–	–
$\varepsilon_t$	–	–	0,004	0,01	0,008	0,025	–0,038	0,011	0,007	–0,01	–0,007	–0,01
ОАО БТЗ	2013				2014				2015			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
ИПК	0,72	0,75	0,79	0,81	0,80	0,78	0,76	0,72	0,70	0,67	0,64	0,60
$F_t$	<b>0,054</b>	0,028	0,017	0,032	0,039	0,018	0,053	0,025	0,032	0,02	–	–
$\varepsilon_t$	–	–	0,022	–0,004	–0,015	0	0,007	–0,014	0,021	–0,007	0	–0,012

Из представленных в табл. 3 данных видно, что все значения управляющих воздействий являются неотрицательными, т.е. не было целенаправленных попыток к существенному снижению ИПК продукции, а малые значения и разные знаки величин шума за рассматриваемый период времени подтверждают достаточно высокие значения коэффициентов детерминации для моделей AP(2) в табл. 2.

Для оценки влияния управления на изменение ИПК продукции используем свойство чувствительности [16], для чего введем обобщенный аналог коэффициента чувствительности, который определим, как  $K_{ИПК,F} = \Delta ИПК / \Delta F$ , где  $\Delta ИПК$  – размах ИПК,  $\Delta F$  – размах управляющего воздействия  $F_t$ . Поскольку исходная модель динамики качества определяется дифференциальным уравнением (2), то величины размахов для ИПК и  $F_t$  будем определять по всему интервалу времени. Тогда имеем: для ЗАО ЛАЗ  $K_{ИПК,F} = 0,17/0,056 = 3,04$ ; для ЗАО ТРОЛЗА  $K_{ИПК,F} = 0,13/0,083 = 1,57$ ; для ОАО БТЗ  $K_{ИПК,F} = 0,21/0,037 = 5,68$ . Таким образом, наименьшее влияние

изменения управляющего воздействия на изменение ИПК установлено для ЗАО ТРОЛЗА.

Оценку качества самого управления выполним с использованием предложенного Тагути [17] отношения сигнал/шум (С/Ш), различные варианты которого используются в менеджменте качества [18], для определения лучшего варианта решения, соответствующего максимальному значению этого отношения. В данной работе будем использовать вариант этого отношения для управляющего воздействия, как отношение средней величины управляющего воздействия  $F_{\text{ср}}$  к его размаху, т.е.  $C/\text{Ш} = F_{\text{ср}}/\Delta F$ . Отметим, что обычно при оценке шума используют величину стандартного отклонения, а не величину размаха, но это целесообразно делать при анализе достаточно стабильных процессов. Как видно из табл. 3, изменчивость величины управляющего воздействия не позволяет отнести процесс управления качеством продукции к стабильному процессу. Тогда имеем: для ЗАО ЛАЗ  $C/\text{Ш} = 0,59/0,056 = 10,53$ ; для ЗАО ТРОЛЗА  $C/\text{Ш} = 0,61/0,083 = 7,35$ ; для ОАО БТЗ  $C/\text{Ш} = 0,73/0,037 = 19,61$ . Здесь, как и ранее, наихудшее значение имеет ЗАО ТРОЛЗА.

Рассмотрим возможности использования уравнения (7) для прогнозирования изменения ИПК продукции при наибольших значениях управляющих воздействий, имевших место на предприятиях и выделенных в табл. 3: для ЗАО ЛАЗ  $\max F_t = 0,156$ ; для ЗАО ТРОЛЗА  $\max F_t = 0,102$ ; для ОАО БТЗ  $\max F_t = 0,054$ . В табл. 4 представлена динамика изменения ИПК для рассматриваемых предприятий на 2 лага вперед, поскольку уравнения авторегрессии позволяют получить только краткосрочный достоверный прогноз.

Таблица № 4

## Прогноз изменения ИПК продукции

Пред- приятие	ЗАО ЛАЗ				ЗАО ТРОЛЗА			ОАО БТЗ				
	2014				2013	2014		2013				
Год	2014				2013	2014		2013				
Квартал	1	2	3	4	4	1	2	3	1	2	3	4
$F_t$	0,156				0,102			0,054				
ИПК	0,58	0,60	0,66	0,76	0,65	0,66	0,41	-0,08	0,72	0,75	0,09	-1,18

Из результатов прогнозов, представленных в табл. 4 видно, что поддержание величины управляющего воздействия, равного наибольшему значению, приводит к повышению ИПК продукции только на ЗАО ЛАЗ, а на ЗАО ТРОЛЗА и ОАО БТЗ приводит к обратному эффекту, т.е. снижению ИПК. Такой характер поведения ИПК обусловлен тем, что корни характеристического уравнения для ЗАО ЛАЗ имеют только действительные части, а для ЗАО ТРОЛЗА и ОАО БТЗ эти корни имеют значимые мнимые составляющие. Для практики управления качеством это означает, что сотрудники предприятий с высоким потенциалом не будут выдерживать длительное давление со стороны руководства, требующего работать за пределами своих возможностей. Обоснуем последнее утверждение с использованием коэффициента пульсации, равного отношению максимальной величины управляющего воздействия к его среднему значению по данным табл. 3, которое составляет:

- для ЗАО ЛАЗ  $C/Ш = 0,156/0,122 = 1,28$ ;
- для ЗАО ТРОЛЗА  $C/Ш = 0,102/0,077 = 1,32$ ;
- для ОАО БТЗ  $C/Ш = 0,054/0,032 = 1,7$ .

Отметим, что имеется еще одна возможность формирования переменного (ступенчатого) управляющего воздействия для достижения целей в области качества, рассмотренная в работах [19, 20]. Представленные результаты прогнозирования дают основания считать, что повышение уровня

управляющего воздействия, предложенное в [20] для достижения целей в области качества может дать только краткосрочный эффект при определенных значениях потенциала и сопротивления персонала предприятия.

### **Обсуждение результатов**

Работа [15] была опубликована в 2016 г., поэтому представляет интерес деятельность этих предприятий в период с 2016 по 2020 гг.

Начавшаяся оптимизация троллейбусных маршрутов, повлекшая за собой снижение спроса и заказов на троллейбусы, не позволила обеспечить конкурентоспособность даже за счет использования наибольших величин управляющих воздействий на всех предприятиях. Поэтому, несмотря на достаточно высокие значения ИПК продукции на ЗАО ТРОЛЗА и ОАО БТЗ, предприятия не смогли остаться в отрасли и выпускать продукцию под своей торговой маркой.

Так, в настоящее время, юридическое лицо ЗАО ТРОЛЗА прекратило существование, однако производственные мощности предприятия, как и его сотрудники, вошли в состав филиала производственной компании ООО «ПК Транспортные системы» – обособленного подразделения «Энгельсский завод электрического транспорта», который приступил к серийному выпуску новой модели троллейбусов «Адмирал».

ОАО БТЗ в 2017 г. официально закрылось, его основные производственные фонды переведены в АО «Уфимский трамвайно-троллейбусный завод», в настоящее время успешно выпускающий троллейбусы.

ЗАО ЛАЗ, для которого ИПК продукции имел относительно низкое значение, в настоящее время успешно функционирует и развивается даже в условиях снижения спроса на продукцию. Здесь в качестве основной

причины того, что предприятие осталось в отрасли, следует рассматривать относительно малую долю занимаемого продукцией рынка.

Таким образом, в работе было установлено соответствие коэффициентов разностного уравнения динамики качества и уравнения авторегрессии 2-го порядка с экспериментальными данными по изменению интегрального показателя качества продукции. С использованием установленного соответствия выполнен анализ результатов деятельности предприятий по обеспечению качества продукции за период 2013 – 2015 гг. Установлено, что показатели этой деятельности прямо связаны с существованием этих предприятий после исследованного периода.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-01-00015.*

### Литература

1. Анцев В.Ю., Иноземцев А.Н. Всеобщее управление качеством. Тула: Изд-во ТулГУ, 2005. 243 с.
2. Kaplan R.S., Norton D.P. The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action. Boston: Harvard Business School Press, 1996. 329 p.
3. Ивахненко А.Г., Пузанов В.Е. Построение детерминированных моделей динамики качества продукции // Вестник Донского государственного технического университета. 2012. Т. 12. № 2-1 (63). С. 17-25.
4. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: ЮНИТИ, 1998. 1000 с.
5. Драница Ю.П., Драница А.Ю. Некоторые аспекты интерпретации экспериментальных данных на основе теории линейных динамических систем // Вестник Мурманского ГТУ. Т. 12. №1. 2009. С. 125-131.



6. Драница Ю.П., Драница А.Ю., Алексеевская О.В. О связи непрерывной и дискретной моделей для линейных динамических систем // Дифференциальные уравнения и процессы управления. 2010. №3. С. 20-57.

7. Кармалита В.А. Цифровая обработка случайных колебаний. М.: Машиностроение, 1986. 80 с.

8. Никитин С.П., Логинова А.М. Реализация процессного и системного подходов на основе математического моделирования сети производственных процессов // Методы менеджмента качества. № 9. 2006. С. 8-12.

9. Пузанов В.Е., Ивахненко А.Г., Зотов И.В., Подмастерьев К.В. Обзор существующих подходов к исследованию динамики качества продукции // Известия Юго-Западного государственного университета. 2014. № 1 (52). С. 49-58.

10. Пузанов В.Е. Планирование целей машиностроительного предприятия в области качества на основе моделей динамики показателей качества продукции: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23. Курск, 2013. 17 с.

11. Ивахненко А.Г., Аникеева О.В., Сторублев М.Л. Модель управления качеством продукции и деятельности предприятия в пространстве состояний // Автоматизация в промышленности. 2019. № 8. С. 36–38.

12. Александров А.Г., Артемьев В.М., Афанасьев В.Н. Справочник по теории автоматического управления. Под ред. А.А. Красовского. М.: Наука, 1987. 711 с.

13. Шейнов В.П. Скрытое управление человеком. М.: АСТ, 2008. 816 с.

14. Хусаинов З.Х. Методы управления хаосом // Креативная экономика. 2018. №6. С. 747-766.

15. Корсаков В.В. Совершенствование инструментов экономического стимулирования персонала в целях повышения качества продукции на предприятии. Саратов: Изд-во «Академия управления», 2016. 141 с.

---

16. Ивахненко А.Г., Аникеева О.В., Сторублев М.Л. Исследование свойств математических моделей управления качеством // Международная научно-практическая конференция «Теоретические и практические основы технологических процессов». Стерлитамак: АМИ, 2019. С. 35-42.

17. Taguchi Genichi, Subir Chowdhury, Yui Wu. Taguchi's Quality Engineering Handbook. Wiley-Interscience. 2004. 1696 p.

18. Анцев В.Ю., Витчук Н.А. Методика квалитетрической оценки качества производственных процессов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 8-1. С. 324-331.

19. Аникеева О.В., Ивахненко А.Г., Сторублев М.Л. Моделирование влияния значений параметров взаимодействия потенциала и организационного сопротивления на достижимость целей в области качества при ступенчатом виде управления // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 10. С. 3-9.

20. Ивахненко А.Г., Аникеева О.В. Взаимодействие подсистем предприятий при целевом управлении качеством продукции // Вестник Брянского государственного технического университета. 2020. № 11. С. 44-51. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-11-44-51.

### References

1. Ancev V.Ju., Inozemcev A.N. Vseobshhee upravlenie kachestvom [Total quality management]. Tula: TulGU, 2005. 243 p.

2. Kaplan R.S., Norton D.P. The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action. Boston: Harvard Business School Press, 1996. 329 p.

3. Ivakhnenko A.G., Puzanov V.E. Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2012. Vol. 12. № 2-1 (63). pp. 17-25.

4. Ajvazjan S.A., Mhitarjan V.S. Prikladnaja statistika i osnovy jekonometriki [Applied Statistics and Fundamentals of Econometrics]. Moskva: JuNITI, 1998. 1000 p.



5. Dranica Ju.P., Dranica A.Ju. Vestnik Murmanskogo GTU. Vol. 12. №1. 2009. pp. 125-131.
6. Dranica Ju.P., Dranica A.Ju., Alekseevskaja O.V. Differencial'nye uravnenija i processy upravlenija. 2010. №3. pp. 20-57.
7. Karmalita V.A. Cifrovaja obrabotka sluchajnyh kolebanij [Digital processing of random vibrations]. Moskva: Mashinostroenie, 1986. 80 p.
8. Nikitin S.P., Loginova A.M. Metody menedzhmenta kachestva. № 9. 2006. pp. 8-12.
9. Puzanov V.E., Ivakhnenko A.G., Zotov I.V., Podmaster'ev K.V. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. № 1 (52). pp. 49-58.
10. Puzanov V.E. Planirovanie celej mashinostroitel'nogo predpriyatija v oblasti kachestva na osnove modelej dinamiki pokazatelej kachestva produkcii: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.02.23 nauk [Planning goals of a machine-building enterprise in the field of quality based on models of dynamics of product quality indicators. Avtoref. cand. dis.]. Kursk, 2013. 17 p.
11. Ivakhnenko A.G., Anikeeva O.V., Storublev M.L. Avtomatizacija v promyshlennosti. 2019. № 8. pp. 36-38.
12. Aleksandrov A.G., Artem'ev V.M., Afanas'ev V.N. and other. Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravlenija [Handbook of theory of automatic control]. Moskva: Science, 1987. 711 p.
13. Shejnov V.P. Skrytoe upravlenie chelovekom [Hidden human control]. Moskva: AST, 2008. 816 p.
14. Husainov Z.H. Kreativnaja jekonomika. 2018. №6. pp. 747-766.
15. Korsakov V.V. Sovershenstvovanie instrumentov jekonomicheskogo stimulirovanija personala v celjah povyshenija kachestva produkcii na predpriyatii [Improving the tools of economic incentives for personnel in order to improve the quality of products at the enterprise]. Saratov: Akademija upravlenija, 2016. 141 p.





16. Ivakhnenko A.G., Anikeeva O.V., Storublev M.L. Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija «Teoreticheskie i prakticheskie osnovy tehnologicheskikh processov»: trudy (Proc. International Scientific and Practical Conference "Theoretical and Practical Foundations of Technological Processes"). Sterlitamak: AMI, 2019. pp. 35-42.

17. Taguchi Genichi, Subir Chowdhury, Yuiin Wu. Taguchi's Quality Engineering Handbook. Wiley-Interscience. 2004. 1696 p.

18. Ancev V.Ju., Vitchuk N.A. Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki. 2017. № 8-1. pp. 324-331.

19. Anikeeva O.V., Ivakhnenko A.G., Storublev M.L. Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki. 2020. № 10. pp. 3-9.

20. Ivakhnenko A.G., Anikeeva O.V. Vestnik Brjanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. 2020. № 11. pp. 44-51. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-11-44-51.