

Исследование взаимосвязи и взаимодействия процессов системы менеджмента качества предприятия в пространстве состояний

А.Г. Ивахненко, О.В. Аникеева, М.Л. Сторублев

Юго-Западный государственный университет, Курск

Аннотация: Для трех основных процессов предприятия, выделенных при декомпозиции его деятельности, разработана математическая модель в пространстве состояний с учетом их взаимосвязи и взаимодействия в системе менеджмента качества. Для полученной системы дифференциальных уравнений раскрыт структурный состав входящих в нее операторов. Рассмотрен пример применения созданной математической модели при исследовании функционирования системы менеджмента качества с использованием линейных и нелинейных операторов и действии случайных внешних возмущений. Приведено обсуждение результатов моделирования при различных значениях параметров с точки зрения функционирования выделенных процессов.

Ключевые слова: дифференциальное уравнение, пространство состояний, процесс, система менеджмента качества.

Введение

Основными отличиями стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования» от его предыдущих версий является совместное применение процессного подхода и риск-ориентированного мышления в системе менеджмента качества (СМК). Процессный подход поддерживает планирование процессов с учетом их взаимодействия, обеспечение их ресурсами и определение возможностей для улучшения, а риск-ориентированное мышление позволяет определять факторы, влияющие на возникновение отклонений от запланированных результатов процессов.

При моделировании взаимосвязанных и взаимодействующих процессов целесообразно использовать развитый аппарат теории автоматического управления (ТАУ) [1]. Так, аппарат классической ТАУ был применен в [2] для исследования устойчивости функционирования предприятия. Обзор подходов к выбору переменных состояния представлен в работе авторов [3], в дополнение к которому отметим еще работу [4], где рассмотрено взаимодействие производственной системы с пятью организационно-

технологическими подсистемами и определены 417 фазовых переменных – проводки по счетам бухгалтерского учета.

В [5] с использованием ТАУ была предложена математическая модель системы менеджмента качества на уровне деятельности промышленного предприятия в пространстве состояний, где переменными состояниями были выбраны текущие значения целей в области качества и скорости их изменения. В данной работе развивается более общий подход, предложенный в [6] при декомпозиции деятельности промышленного предприятия до уровня трех основных процессов и учитывающий, кроме процессов жизненного цикла продукции, как обоснованное целеполагание, так и обеспечение ресурсами.

Основой всех дальнейших предположений и допущений, принятых в этой работе, является гипотеза – СМК предприятия функционирует в соответствии со всеми принципами менеджмента качества, представленными в ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования», а не создана только для имиджа посредством получения/поддержания сертификата.

Задачей данной работы является разработка математической модели взаимосвязи и взаимодействия основных процессов системы менеджмента качества промышленного предприятия.

Математическая модель взаимосвязи и взаимодействия процессов СМК предприятия в пространстве состояний

При декомпозиции деятельности промышленного предприятия были выделены три основных процесса (макропроцесса) [6]: A_1 – жизненного цикла продукции на предприятии; A_2 – измерения, анализа и управления со стороны руководства; A_3 – обеспечения ресурсами.

Для построения модели рассмотрим вектора:

- 1) переменных состояния макропроцессов и скорость их изменения – $X(t)$ и $dX(t)/dt$, соответственно, где $X(t) = (X^{A1}(t), X^{A2}(t), X^{A3}(t))$;
- 2) показателей качества $Y(t) = (Y_1^{A1}(t), Y_2^{A1}(t), 0, Y_2^{A2}(t), Y_1^{A3}(t), Y_2^{A3}(t))$, векторы показателей качества собственно самих макропроцессов (нижний индекс равен 1) и их результатов (нижний индекс равен 2);
- 3) управления макропроцессами $U(t) = [U^{A1}(t), U^{A2}(t), U^{A3}(t)]$.

Составляющая вектора $Y(t)$, а именно $Y_1^{A2}(t) = 0$, это соответствует правилам функционального моделирования, представленным в Р 50.1.028-2001 «Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. Рекомендации по стандартизации», и означает, что на данном уровне декомпозиции деятельности предприятия возможна только оценка результатов принятых решений для этого макропроцесса.

Вектор показателей качества (аналог уравнений наблюдения в ТАУ) имеет вид

$$\begin{aligned} Y_1^{A1}(t) &= G_{11}(t)X^{A1}(t), Y_2^{A1}(t) = G_{12}(t)X^{A1}(t), Y_2^{A2}(t) = G_{22}(t)X^{A2}(t), \\ Y_1^{A3}(t) &= G_{31}(t)X^{A3}(t), Y_2^{A3}(t) = G_{32}(t)X^{A3}(t) \end{aligned}, \quad (1)$$

а взаимосвязь и взаимодействие макропроцессов СМК предприятия в пространстве состояний в общем виде [6] представлены системой дифференциальных уравнений, которые здесь дополнены неуправляемыми внешними воздействиями, действующими на основные процессы $\xi^{A1}(t)$, $\xi^{A2}(t)$ и $\xi^{A3}(t)$:

$$\begin{aligned} dX^{A1}/dt &= H_1(X^{A1}) + S_1(Y_2^{A2}) + \xi^{A1}(t), \\ dX^{A2}/dt &= H_2(X^{A2}) + S_2(Y_1^{A1}, Y_2^{A1}, Y_1^{A3}, Y_2^{A3}, Z_1, Z_2, Z_3) + \xi^{A2}(t), \\ dX^{A3}/dt &= H_3(X^{A3}) + S_3(Y_2^{A2}) + \xi^{A3}(t), \end{aligned} \quad (2)$$

с соответствующими начальными значениями векторов $X(t)$ и $dX(t)/dt$, при $t = 0$, где Z_1 – вектор требований и ожиданий потребителей и заинтересованных сторон; Z_2 – вектор показателей удовлетворенности

потребителей и заинтересованных сторон; Z_3 – вектор показателей качества комплектующих, сырья и материалов.

Для практического применения обобщенной модели при использовании выражений (1) и (2) необходимо установить такие структуры введенных операторов G , H и S , которые будучи достаточно общими, позволяли бы учитывать особенности различных промышленных предприятий и выпускаемой продукции. В работах [3, 7-9] обоснованы подходы к формированию структуры введенных операторов H и G , а здесь представим подход к обоснованию возможных видов оператора S , рассматривая его как функцию времени $S(t)$ при решении следующих основных задач [10]:

1) задача стабилизации – поддержание составляющих вектора показателей качества (1) на заданных уровнях с учетом допустимых отклонений при постоянно действующих возмущениях $\xi(t)$;

2) задача программного управления – обеспечение заданных траекторий изменения вектора показателей качества (1), в том числе достижение заданного уровня показателей качества макропроцессов и их результатов;

3) задача слежения – формирование такой траектории изменения вектора показателей качества (1), которая должна как можно точнее аппроксимировать другую, заранее не известную траекторию, соответствующую изменению требований и ожиданий потребителей и заинтересованных сторон во времени;

4) задача экстремального управления – формирование такой траектории изменения вектора показателей качества (1), которая бы соответствовала экстремуму целевого функционала, соответствующего определенному режиму функционирования СМК, например минимуму функции потерь качества Тагути [11] или затрат на качество и т.п.;

5) задача оптимизации – также связана с формированием траектории изменения вектора показателей качества (1), соответствующей экстремуму функционала, связанного с самими этими траекториями в отличие от задач экстремального управления, например, достижение заданного уровня показателей качества макропроцессов и их результатов (как в задаче 2), но за минимальное время при заданных ограничениях.

При решении задач 4 и 5 выражения (1) и (2) должны быть дополнены соответствующими функционалами и ограничениями.

Перечисленные выше задачи на конкретном предприятии находятся в определенной иерархической взаимосвязи, могут решаться одновременно и соответствовать основным стратегиям улучшения качества (кайзен и кайрио) на разных уровнях управления – стратегическом, тактическом и оперативном.

Выбор соответствующей задачи для определения вида оператора S должен определяться не количеством формул [12], а условиями функционирования СМК и целесообразностью постановки именно этой задачи. Например, если достижение целей в области качества возможно за установленный срок (обычно один год), то сначала следует решать задачу программного управления, а решение задач экстремального управления и/или оптимизации выполнять только если: достичь цели в заданный период времени не возможно, не устраивают показатели переходных процессов или требуется выполнить дополнительные условия.

В табл. 1 развернут подход к формированию рассмотренных операторов G , H и S .

Таблица № 1

Структурный состав операторов макропроцессов

Оператор	Состав оператора
G	Составляющие вектора Y соответствовать переменным состояния или определяться одинаковым или различным

	<p>образом через переменные состояния за некоторый интервал времени, после некоторого периода времени или через определенные промежутки времени: \bar{x} – среднее значение; $R(x)=(x_{\max} - x_{\min})$ – размах; $\sigma(x)$ – стандартное отклонение; $\bar{x}/\sigma(x)$ – отношение сигнал/шум; $\sum \alpha_i x_i$ ($\sum \alpha_i = 1$) – квалиметрическая оценка комплексного или интегрального показателя качества (α_i – вес i-го показателя)</p>
<p>H</p>	<p>Для линейной модели: $H(x, \dot{x}) = \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n b_i \dot{x}_i$.</p> <p>Для нелинейной модели:</p> $H(x, \dot{x}) = \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n b_i \dot{x}_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_i \dot{x}_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n e_{ij} \dot{x}_i \dot{x}_j$ <p>Нестационарность коэффициентов в операторе H может заменять/учитывать невыполненную декомпозицию макропроцессов на подпроцессы более низкого уровня</p>
<p>S</p>	<p>При определении структуры оператора S_2 значения аргументов $\arg(S_2) = \{0\}$ будут определять:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) $\arg(S_2) = \{Z_1 - Y_1^{A1}\}$ и $\arg(S_2) = \{Z_1 - Y_2^{A1}\}$ – полное соответствие показателей качества процессов жизненного цикла и продукции предприятия требованиям и ожиданиям заинтересованных сторон в момент времени реализации оператора S_2; 2) $\arg(S_2) = \{Z_1 - Y_1^{A3}\}$ и $\arg(S_2) = \{Z_1 - Y_2^{A3}\}$ – полное соответствие показателей качества процессов обеспечения ресурсами и их результатов требованиям и ожиданиям заинтересованных сторон в момент времени реализации оператора S_2; 3) $\arg(S_2) = \{Z_2 - Y_1^{A1}\}$ и $\arg(S_2) = \{Z_2 - Y_2^{A1}\}$ – полное соответствие показателей качества процессов жизненного цикла и продукции требованиям и ожиданиям заинтересованных сторон за некоторый интервал времени, предшествующий началу реализации оператора S_2; 4) $\arg(S_2) = \{Z_2 - Y_1^{A3}\}$ и $\arg(S_2) = \{Z_2 - Y_2^{A3}\}$ – полное соответствие показателей качества процессов обеспечения ресурсами и их результатов требованиям и ожиданиям заинтересованных сторон за некоторый интервал времени, предшествующий началу реализации оператора S_2. <p>При программном управлении оператор S_2 может представлять собой только представленные значения аргументов, а операторы S_1 и S_3 – единичные операторы (матрицы) или операторы, учитывающие запаздывание управляющего воздействия.</p>

Экспериментальная часть

Рассмотрим деятельность предприятия, которая декомпозирована на три основных процесса. Целью управления является достижение соответствия показателя качества продукции постоянно растущим требованиям потребителей, отражаемых линейной зависимостью $z_1 = z_{1,0} + z_{1,1}t$, и поддержание показателя качества комплектующих при действии внешних возмущений $z_3 = z_{3,0} + \xi^{A3}$, где: $z_{1,0}$ – текущий уровень требований; $z_{1,1}$ – скорость роста требований; $z_{3,0}$ – требуемое значение показателя качества комплектующих; ξ^{A3} – отклонения показателя качества комплектующих, характеризуемые белым гауссовым шумом. Составляющие вектора переменных состояния $X(t) = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8)^T$ характеризуют: процесс $A1$ – x_1, x_2 ; процесс $A3$ – x_7, x_8 ; управление процессом $A1$ со стороны процесса $A2$ (подпроцесс $A21$) – x_3, x_4 ; управление процессом $A3$ со стороны процесса $A2$ (подпроцесс $A23$) – x_5, x_6 . Для переменных состояния приняты следующие начальные значения: $x_1(0) = x_3(0) = x_5(0) = x_7(0) = 0,8$; $x_2(0) = x_4(0) = x_6(0) = x_8(0) = 0$.

При отсутствии взаимосвязей между подпроцессами $A21$ и $A23$, а также при линейных операторах H для $A1, A21, A23$ и $A3$, система уравнений (2) примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2, \dot{x}_2 = h_{21}x_1 + h_{22}x_2 + h_{23}x_3, \\ \dot{x}_3 &= x_4, \dot{x}_4 = h_{41}x_1 + h_{43}x_3 + h_{44}x_4 + l_{A1}z_1, \\ \dot{x}_5 &= x_6, \dot{x}_6 = h_{65}x_5 + h_{66}x_6 + h_{67}x_7 + l_{A3}z_3, \\ \dot{x}_7 &= x_8, \dot{x}_8 = h_{85}x_5 + h_{87}x_7 + h_{88}x_3, \end{aligned} \quad (3)$$

где $h_{23} = -h_{21}$, $h_{41} = h_{21}$, $h_{85} = -h_{87}$, $h_{67} = h_{87}$, $l_{A1} + h_{41} + h_{43} = 0$, $l_{A3} + h_{65} + h_{67} = 0$.

Из представленной системы (3) видно, что два не взаимодействующих подпроцесса $A21$ и $A23$ являются, по сути, регуляторами [13] для невзаимосвязанных процессов $A1$ и $A3$.

В табл. 2 представлены численные значения независимых коэффициентов системы (3), значения $z_{1,0} = 0,8$ и $z_{1,1} = 0,002$ выбраны таким

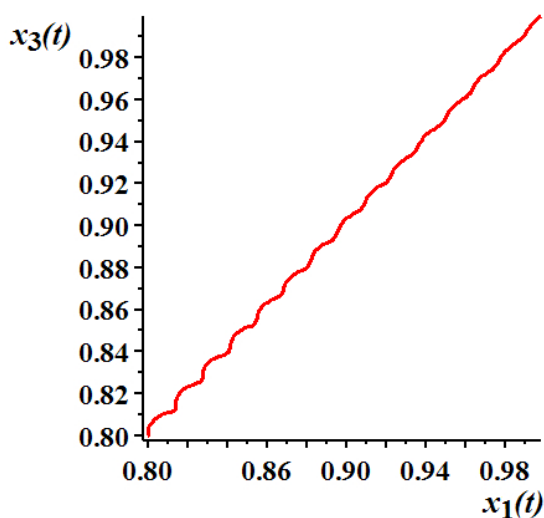
образом, чтобы показатель качества продукции z_1 получал значение $z_1 = 1$ при отсутствии динамических явлений за модельное время равное $t = 100$. Показатель качества комплектующих $z_{3,0} = 0,8$, а параметры внешних возмущений ξ^{A3} имеют значения $\mu_I = \mu_{II} = 0$, а также $\sigma_I = 0,007$ и $\sigma_{II} = 0,02$ для вариантов I и II, соответственно.

Таблица № 2

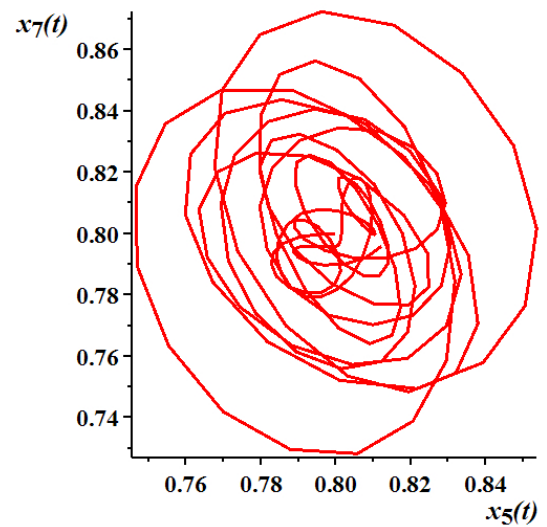
Параметры линейной модели СМК

№	h_{21}	h_{22}	h_{43}	h_{44}	h_{65}	h_{66}	h_{87}	h_{88}
I	-0,67	-0,5	-1,25	-0,94	-1,25	-0,94	-0,67	-0,5
II	-0,67	-0,5	-1,00	-0,75	-1,25	-0,94	-0,67	-0,5

На рис. 1 представлены фазовые портреты, отражающие взаимодействие процессов $A1$ и $A21$, а также $A3$ и $A23$.



а)



б)

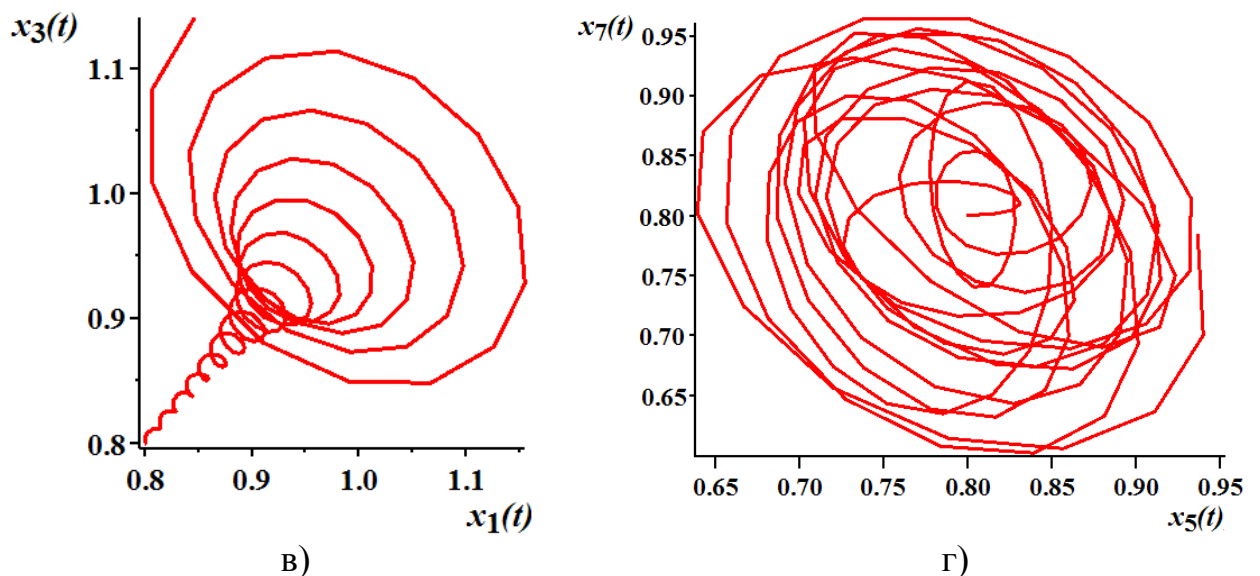


Рис. 1. – Фазовые портреты взаимодействия процессов: а) $A1$ и $A21$, вар. I; б) $A3$ и $A23$, вар. I; в) $A1$ и $A21$, вар. II; г) $A3$ и $A23$, вар. II

Переход СМК из устойчивого состояния в неустойчивое при достижении значений $h_{43} = 1,11$ и $h_{44} = 0,83$ отражен на рис.1,а и рис.1,в, вследствие повышения инерционности (сложности) процесса регулирования показателя качества продукции при постоянных значениях потенциала предприятия и организационного сопротивления. Это явление хорошо изучено в ТАУ для линейных систем с обратной связью по отклонению и обусловлено снижением быстродействия системы управления по сравнению с быстродействием объекта регулирования.

На рис.1, б и рис.1, г представлено изменение показателей качества процесса обеспечения ресурсами посредством управления со стороны руководства при различных значениях стандартного отклонения показателя качества комплектующих. Здесь можно только условно считать, что СМК находится в состоянии устойчивости «в большом» и неустойчивости «в малом», поскольку результат оценки устойчивости будет напрямую связан с допускаемыми отклонениями показателей качества процесса $A3$ и подпроцесса $A23$. Схожая проблема возникла при исследовании

устойчивости управления планом производства продукции в [14], где был предложен аналог теоремы Ляпунова.

В реальных СМК, как и в системах управления производством, существуют взаимосвязи и взаимодействие между процессами и подпроцессами. Введем симметричные структурно линейные взаимосвязи между подпроцессами $A21$ и $A23$, а также учтем некоторые нелинейные составляющие в операторах H для $A1$ и $A3$ так, что система уравнений (2) теперь примет вид

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2, \dot{x}_2 = h_{21}x_1 + h_{22}x_2 + h_{23}x_3 + h_{(21)}x_1x_2 + h_{(22)}x_2^2, \\ \dot{x}_3 &= x_4, \dot{x}_4 = h_{41}x_1 + h_{43}x_3 + h_{44}x_4 + h_{45}x_5 + h_{46}x_6 + l_{A1}z_1, \\ \dot{x}_5 &= x_6, \dot{x}_6 = h_{63}x_3 + h_{64}x_4 + h_{65}x_5 + h_{66}x_6 + h_{67}x_7 + l_{A3}z_3, \\ \dot{x}_7 &= x_8, \dot{x}_8 = h_{85}x_5 + h_{87}x_7 + h_{88}x_8 + h_{(78)}x_7x_8 + h_{(88)}x_8^2, \end{aligned} \quad (4)$$

где к уравнениям связи между коэффициентами для (3) $h_{23} = -h_{21}$, $h_{41} = h_{21}$, $h_{85} = -h_{87}$, $h_{67} = h_{87}$ добавятся следующие: $l_{A1} = h_{41} + h_{43} + h_{45}$, $l_{A3} = h_{63} + h_{65} + h_{67}$.

В табл. 3 представлены значения вновь введенных коэффициентов для вариантов III – IV, а остальные коэффициенты имеют значения для варианта I по табл. 2.

Таблица № 3

Параметры нелинейной модели

№	h_{45}	h_{46}	h_{63}	h_{64}	$h_{(21)}$	$h_{(22)}$	$h_{(78)}$	$h_{(88)}$
III	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0	0	0	0
IV	0,1	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
V	0,1	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	0,2	0,2	-0,6

На рис. 2 представлены фазовые портреты, отражающие взаимосвязи и взаимодействие процессов $A1$ и $A21$, а также $A3$ и $A23$.

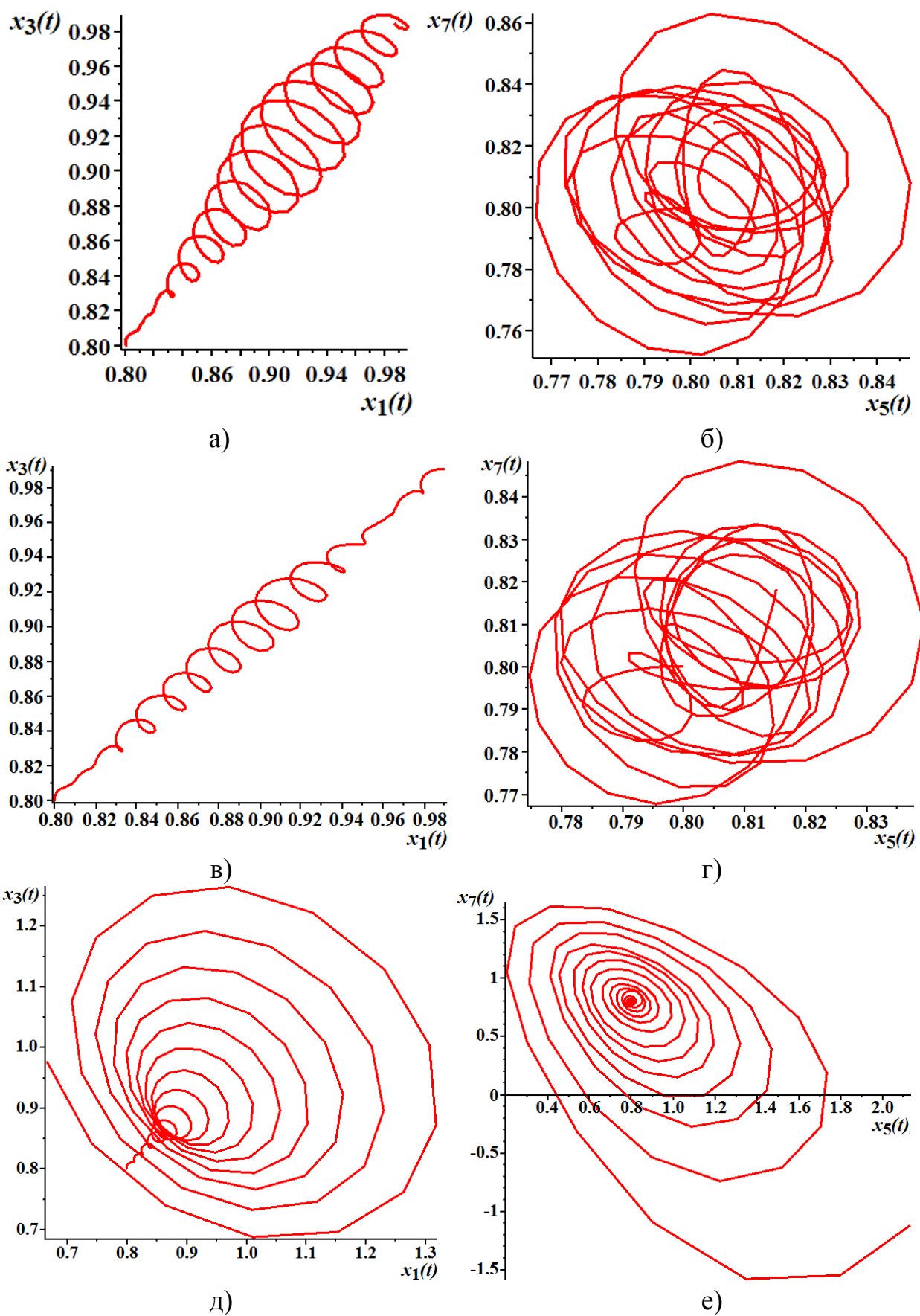


Рис. 2. – Фазовые портреты взаимодействия процессов:

- а) $A1$ и $A21$, вариант III; б) $A3$ и $A23$, вариант III; в) $A1$ и $A21$, вариант IV;
г) $A3$ и $A23$, вариант IV; д) $A1$ и $A21$, вариант V; е) $A3$ и $A23$, вариант V

Линейные взаимосвязи между подпроцессами $A21$ и $A23$ (рис.2,а) при принятых значениях коэффициентов в варианте III приводят к росту колебаний показателей качества продукции и подпроцесса $A21$ при достижении их требуемых значений по сравнению с вариантом I (рис.1,а), где эти взаимосвязи отсутствовали. Это может быть обусловлено на практике частичным использованием общего потенциала предприятия и повышением организационного сопротивления при реализации подпроцессов $A21$ и $A23$, в том случае, если часть сотрудников участвует в измерениях, анализе и управлении со стороны руководства в обоих этих подпроцессах. Значимость этих колебаний, как и ранее, будет зависеть от принятых значениях допусков на изменение показателей качества во времени при достижении поставленной цели – $z_1 = 1$ при $t = 100$. При этом происходит некоторое повышение минимального значения показателя качества комплектующих, являющихся ресурсом для процесса $A1$, от 0,73 (рис.1, б) до 0,75 (рис.2, б).

Характер влияния нелинейных составляющих в структурах операторов H для процессов $A1$ и $A3$ и их принятых значений, при наличии тех же самых взаимосвязей между подпроцессами $A21$ и $A23$, отражен на рис.2в, г, д, е.

Снижение изменчивости всех показателей качества (рис. 2. в, г) обусловлено существенным ростом организационного сопротивления (демпфирования) при частой смене целевых показателей для рассматриваемых процессов, обусловленным значимых нелинейных составляющих. Возрастание изменчивости и переход СМК в неустойчивое состояние (рис.2. д, е), напротив, характеризует существенное снижение организационного сопротивления и переход к преувеличенному содействию

при частой смене целевых показателей, что можно сопоставить с эффектом «итальянской» забастовки.

Из рассмотренного выше примера видно, что переход от модельного времени к физическому времени, при использовании безразмерных переменных состояний, можно осуществить только для неавтономных систем дифференциальных уравнений с известными временными параметрами управлений. Так, если в данном примере достижение значения показателя $z_1 = 1$ планируется выполнить за один год, то масштаб времени будет определяться как $t_{\phi}/t = 1 \text{ год}/100$. Достижимость этого показателя будет соответствовать затуханию динамических процессов в СМК, например, как на рис.1, а или рис.2, в. Такие временные параметры управлений могут быть определены по фактическим данным, представленным в отчетах предприятий по качеству.

Обсуждение результатов

Отметим, что хотя первоначально в основу создания математических моделей СМК в пространстве состояний были положены физические аналогии [5], введение в эти модели нелинейных элементов с соответствующими знаками, характеризуемых в [7] как положительные обратные связи, позволяет более точно характеризовать сложность процессов, организационное сопротивление и потенциал предприятия. Такие характеристики не могут быть описаны пассивными инерционными, диссипативными и упругими элементами, а связи – их соединениями. Они соответствуют рассмотрению активных элементов в организационно-технических и социально-экономических системах, к которым относятся СМК.

На основе разработанной ранее структурной модели формирования качества продукции в пространстве состояний СМК процессов предприятия была построена математическая модель, описывающая взаимосвязь и

взаимодействие этих процессов как система дифференциальных уравнений, для которой раскрыты структурные составы входящих в нее операторов. Выполнено моделирование СМК промышленного предприятия, деятельность которого была декомпозирована на три макропроцесса, результаты которого отражают основные особенности функционирования при их взаимосвязи и взаимодействии.

К перспективному направлению дальнейших исследований отнесем учет в созданной модели СМК точности измерений показателей качества продукции и процессов, требований и ожиданий потребителей и заинтересованных сторон, а также их удовлетворенности. Существенное влияние этой точности на результаты моделирования может обусловить переход к рассмотрению уравнений с их дискретными значениями.

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

Литература

1. Александров А.Г., Артемьев В.М., Афанасьев В.Н. и др. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. Красовского А.А. М.: Наука, 1987. 711 с.
2. Guryanova L., Nikolaiev I., Zhovnovach R. and other. Modelling of the enterprise functioning stability using the automatic control theory apparatus // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 4. № 3 (88). Pp. 45-55. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.108936.
3. Ивахненко А.Г., Анিকেева О.В., Сторублев М.Л. Структуры операторов системных свойств деятельности в моделях динамики качества в пространстве состояний // 6-ая Международная молодежная научно-практическая конференция «Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование». Курск: ЮЗГУ, 2019. С. 136-144.

4. Мухин С.Н. Методика комплексной оценки управленческих решений в производственных системах с применением корреляционной адаптометрии: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. Красноярск, 2011. 22 с.

5. 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.

6. Ивахненко А.Г., Аникеева О. В., Сторублев М.Л. Структурная модель формирования качества продукции в пространстве состояний процессов промышленного предприятия // Известия Самарского научного центра РАН. 2019. № 4. С. 76-81.

7. Керов А.В., Клочков Ю.С., Купцов П.В. и др. Моделирование развития процессов систем менеджмента качества // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 15. С. 310-313.

8. Сторублев М.Л. Подход к формированию метрик показателей качества для процессов промышленных предприятий // Всероссийская научно-техническая конференция «Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем». Курск: ЮЗГУ, 2019. Т. 2. С. 204-211.

9. Ansoff H.I., Declerk R.P. and Hayes R.L. (eds). Strategic Planning to Strategic Management, Wiley, Chichester, 1976. 257 p.

10. Черноруцкий И.Г. Методы оптимизации. Компьютерные технологии. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 384 с.

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

12. Филимонов Н.Б. Феномен «непостижимой эффективности» математизации науки и физикализация современной теории управления // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. Вып. 8. С. 255-262.

13. Федотов И.А. Синтез ПИД-регуляторов на основе методов пространства состояний и техники линейных матричных неравенств // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2014. № 4 (1). С. 445–455.

14. Гитман М.Б., Елисеев А.С. К вопросу об устойчивом управлении производственным планом // Интеллектуальные системы в производстве. 2012. №2 (20). С. 16-19.

References

1. Aleksandrov A.G., Artem'ev V.M., Afanas'ev V.N. and other. Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravlenija [Handbook of theory of automatic control]. Moscow: Science, 1987. 711 p.

2. Guryanova L., Nikolaiev I., Zhovnovach R. and other. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 4. № 3 (88). Pp. 45-55. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.108936.

3. Ivahnenko A.G., Anikeeva O.V., Storublev M.L. 6-aja Mezhdunarodnaja molodezhnaja nauchno-prakticheskaja konferencija «Kachestvo produkcii: kontrol', upravlenie, povyshenie, planirovanie»: trudy (Proc. 6th International Youth Scientific and Practical Conference "Product Quality: Control, Management, Improvement, Planning"). Kursk, 2019, pp. 136-144.

4. Muhin S.N. Metodika kompleksnoj ocenki upravlencheskih reshenij v proizvodstvennyh sistemah s primeneniem korreljacionnoj adaptometrii: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk [Methodology for the integrated assessment of managerial decisions in production systems using correlation adaptometry. Avtoref. cand. dis.]. Krasnojarsk, 2011. 22 p.

5. Ivahnenko A.G., Anikeeva O.V., Storublev M.L. Avtomatizacija v promyshlennosti. 2019. № 8. pp. 36-38.

6. Ivahnenko A.G., Anikeeva O.V., Storublev M.L. Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN. 2019. № 4. pp. 76-81.

7. Kerov A.V., Klochkov Ju.S., Kupcov P.V. i dr. Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. 2014. № 15. pp. 310-313.
8. Storubev M.L. Vserossijskaja nauchno-tehnicheskaja konferencija «Upravlenie kachestvom na jetapah zhiznennogo cikla tehniceskikh i tehnologicheskikh sistem»: trudy (Proc. All-Russian Scientific and Technical Conference "Quality Management at the Life Cycle Steps of Technical and Technological Systems"). Kursk, 2019, Vol. 2. pp. 204-211.
9. Ansoff H.I., Declerk R.P. and Hayes R.L. (eds). Strategic Planning to Strategic Management, Wiley, Chichester, 1976. 257 p.
10. Chernoruckij I.G. Metody optimizacii. Komp'juternye tehnologii [Optimization methods. Computer technologies]. St. Petersburg: BHV-Peterburg, 2011. 384 p.
11. Taguchi Genichi, Subir Chowdhury, Yui Wu. Taguchi's Quality Engineering Handbook. Wiley-Interscience, 2004. 1696 p.
12. Filimonov N.B. Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki. 2019. Vol. 8. pp. 255-262.
13. Федотов И.А. Fedotov I.A. Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. 2014. № 4 (1). pp. 445–455.
14. Gitman M.B., Eliseev A.S. Intellektual'nye sistemy v proizvodstve. 2012. №2 (20). pp. 16-19.