



Анализ возможностей модального управления в системах менеджмента качества предприятий

О.В. Аникеева, А.Г. Ивахненко

Юго-Западный государственный университет, Курск

Аннотация: Работа посвящена исследованию возможностей обеспечения безусловного достижения целей промышленных предприятий при сочетании модального управления и линейного регулирования с оптимизацией затрат при оперативном и тактическом управлении системами менеджмента качества. Показана общность зависимостей при модальном управлении и линейном регулировании. Предложен подход к сочетанию модального управления и линейного регулирования, включающий определение возможностей по изменению элементов системной матрицы, а также поиск оптимальных или выбор рациональных решений на основе учета затрат. Применение этого подхода рассмотрено на примере деятельности промышленного предприятия. Установлено, что модальное управление не имеет преимуществ по сравнению с линейным регулированием, поскольку используется для повышения устойчивости систем. Быстродействие систем менеджмента качества можно обеспечить при переводе ее в неустойчивый режим работы, однако использование этого режима не может превышать двух-трех лет.

Ключевые слова: система менеджмента качества, модальное управление, линейное регулирование, оптимизация, потенциал предприятия, сопротивление персонала.

Введение

В системах управления сложными объектами – техническими и социально-экономическими системами часто применяется сочетание различных способов [1, 2]. Расширение подходов к поиску оптимальных решений [3, 4] в последние десятилетия привели к развитию и анализу возможностей в применении модального управления и линейно-квадратичного регулирования [5, 6]. Вместе с тем, основные исследования выполнялись для технических систем, в которых используемые приемы замены элементов, изменения их параметров и реализации взаимосвязей не могут быть непосредственно перенесены на системы менеджмента качества (СМК) [7]. Основой моделирования СМК является линейная модель [8], которая исследовалась в основном при программном способе управления, соответствующего стратегическому и тактическому уровням управления, при которых применяется назначение завышенных значений плановых

показателей. В данной работе внимание уделено тактическому и оперативному уровням управления при безусловном достижении целей в области качества, без завышения плановых показателей для персонала.

Целью работы является обеспечение безусловного достижения целей промышленных предприятий при сочетании модального управления и линейного регулирования с оптимизацией затрат при оперативном и тактическом управлении системами менеджмента качества.

Разработка подхода к сочетанию модального управления и линейного регулирования

Линейная модель СМК представляет собой систему уравнений [8]:

$$\dot{X}(t) = AX(t) + BU(t), \quad (1)$$

где $X(t)$ – вектор переменных состояния ($2 \times n$, n – количество целей) имеет две составляющие размерностью n , а именно $X = (X_{(1)}(t), X_{(2)}(t))^T$, из которых $X_{(1)}(t)$ – текущие значения целей в области качества, $X_{(2)}(t)$ – скорости их изменения; A – системная матрица ($2n \times 2n$); B – матрица параметров управления, размерность которой зависит от выбранного закона управления; $U(t)$ – вектор управления (n).

Считается, что действующая СМК всегда является устойчивой, то есть действительные части собственных значений λ_i ($i = 1 \dots n$) являются отрицательными, а сами эти значения определяются из решения уравнения:

$$\det(A - \lambda E) = 0, \quad (2)$$

где E – единичная матрица.

Проверка необходимости выполнения этого условия на рассматриваемых оперативном и тактическом уровнях управления будет рассмотрена на примере.

Решение системы (1) известно, и при заданных начальных условиях для переменных состояния $X(0)$ имеет вид:

$$X(t) = \exp^{At} X(0) + \int_0^t \exp^{A(t-\tau)} BU(\tau) d\tau, \quad (3)$$

где выражение \exp^{At} – матричная экспонента.

Первый член правой части выражения (3) описывает переходный процесс, который при $\operatorname{Re} \lambda_i < 0$ является затухающими свободными колебаниями, препятствующими достижению требуемых значений целей в области качества. Второй член является частным решением системы (1). При этом первый и второй члены зависят от свойств и значений составляющих системной матрицы A , изменение ее свойств будет характеризовать адаптацию СМК, а изменение значений ее составляющих приведет к формированию новой системной матрицы A^* . Изменение параметров системы лежит в основе модального управления и линейного регулирования.

На рассматриваемых уровнях управления из составляющих вектора переменных состояния можно учитывать достоверно только сами текущие значения целей – $X_{(1)}(t)$, а вот оценка скорости их изменения – $X_{(2)}(t)$ будет содержать значительные погрешности. Учет скоростей изменения целей целесообразно выполнять при сочетании стратегического и тактического уровней планирования качества.

В основе модального управления лежит задание управляющего воздействия в виде:

$$U(t) = MX(t), \quad (4)$$

где M – некоторая искомая матрица, такая, чтобы замкнутая система

$$\dot{X}(t) = (A + BM)X(t), \quad (5)$$

обладала заданными свойствами, обеспечиваемыми заданными собственными значениями расширенной системной матрицы $(A + BM)$.

При построении линейных регуляторов также используются зависимости (4) и (5), причем разницу их применения авторы видят в том, что целью модального управления является повышение устойчивости

системы к внешним возмущающим воздействиям, а целью линейного регулирования является повышение быстродействия системы также при наличии внешних возмущений и шумов.

При поиске оптимальных или выборе рациональных решений и обеспечении безусловного достижения целей в области качества будем использовать только терминальную часть классического квадратичного функционала следующего вида:

$$V_T = \sum_{i=1}^n \rho_i (x_{(1),i}(T) - [x_{(1),i}])^2 \rightarrow \min, \quad (6)$$

где ρ_i – затраты, связанные с отклонениями каждой цели на конец планового периода ($i = 1 \dots n$).

Предлагаемый подход к сочетанию модального управления и линейного регулирования заключается в следующем:

1) Находятся собственные числа матрицы A и решение системы (1) с заданными начальными условиями. Определяется достижимость целей в области качества в течение заданного периода времени;

2) Устанавливается предельная возможность повышения значения действительной части собственных чисел, наиболее близко расположенных к мнимой оси;

3) Определяются возможности по изменению элементов системной матрицы, в том числе за счет реализации обратных связей о текущих значениях установленных целей;

4) На основе совмещения результатов, полученных в п.2 и п.3, выполняется поиск оптимальных или выбор рациональных решений на основе учета затрат.

Кроме отмеченного выше различия между модальным управлением и линейным регулированием, для рассматриваемых социально-экономических систем, к которым относятся СМК, выделим еще одно различие. Модальное

управление связано с прямым изменением элементов системной матрицы посредством повышения потенциала предприятия, снижения сопротивления персонала и сложности выполняемых процессов. Такое управление здесь можно определить, как «управление сверху». Линейное регулирование реализуется посредством доведения информации о текущих показателях деятельности до персонала для развития его инициативы, и его можно определить, как «управление снизу». На практике, безусловно, сочетаются оба способа управления, поскольку самый квалифицированный токарь не сможет производить прецизионные детали на устаревшем и изношенном оборудовании с высокой производительностью. В таком случае требуется принятие решений о замене такого оборудования, или его ремонте с модернизацией.

Таким образом, можно отнести п.2 предлагаемого подхода к модальному управлению, а п.3 – к совмещению модельного управления и линейного регулирования.

Наиболее распространенным законом в практике программного управления целями в области качества является ступенчатый закон управления, для которого выражение (3) имеет вид [9]:

$$X(t) = \exp^{At} (X(0) + A^{-1}B) - A^{-1}B, \quad (7)$$

причем элементы матрицы B содержат коэффициенты усиления k_i , изменение которых позволяет обеспечить фактическую достижимость i -ой цели за заданный период времени. Определение областей допустимых значений коэффициентов усиления k_i , обеспечивающих безусловное достижение поставленных целей, было рассмотрено в работе [10].

Совместим модальное управление и линейное регулирование. Будем считать, что матрица A в выражении (7) была изменена посредством «управления сверху». После этого зададим вектор управления вместо (4) следующим образом:

$$U(t) = G[X] - KX(t), \quad (8)$$

где $[X]$ – требуемые значения вектора переменных состояния, включающие только цели в области качества $[X_{(1)}]$, определенные соответствующим документом при тактическом планировании; G и K – матрицы, ненулевые элементы которых соответствуют $[X_{(1)}]$.

С учетом вектора управления (8) выражение (7) примет вид:

$$X(t) = \exp^{(A-K)t} (X(0) + (A-K)^{-1}G) - (A-K)^{-1}G, \quad (9)$$

причем элементы матрицы G содержат коэффициенты усиления k_i , входившие в матрицу B , а элементы матрицы K содержат коэффициенты усиления K_i , характеризующие возможности предприятия при реализации обратной связи.

Экспериментальные исследования

Рассмотрим пример на основе результатов деятельности предприятия ЗАО «Салют» за 2017 год при наличии 2-х целей в области качества ($n = 2$). Начальные значения составили: для целей в области качества предприятия $x_1(0)=0.206$, $x_2(0)=0.90$; для скоростей их достижения $x_3(0)=0.008$, $x_4(0)=0.02$. Достигнутые значения целей за $T = 1$ год: $[x_1] = 0.233$; $[x_2] = 0.93$. Ненулевые элементы системной матрицы равны: $a_{13} = a_{24} = 1$; $a_{31} = -0.815$; $a_{32} = 0.09$; $a_{33} = -0.889$; $a_{34} = 0.094$; $a_{41} = 0.75$; $a_{42} = -0.896$; $a_{43} = 0.818$; $a_{44} = -0.938$. При ступенчатом воздействии в (7) ненулевые элементы матрицы B равны: $b_{31} = 0.19k_1 - 0.084k_2$ и $b_{41} = -0.175k_1 + 0.883k_2$.

Собственные числа матрицы A (п. 1 подхода) являются комплексно сопряженными: $\lambda_{1,2} = -0.596 \pm 0.873i$; $\lambda_{3,4} = -0.318 \pm 0.701i$.

Значения целей в области качества при $k_1 = k_2 = 1$ в момент времени $t = T$ составляют: $x_1(t) = 0.218$ и $x_2(t) = 0.918$, то есть их требуемые значения не достигаются.

Выполним анализ чувствительности значений собственных чисел матрицы A при вариации значений элементов 3-ей и 4-ой строк этой матрицы (п. 2 подхода), считая возможным их изменение на \pm (10%, 20%, 50%), результаты которого представим в табл. 1-3. Приведенные выше значения собственных чисел в этих таблицах приняты за 100%, а их значимые отклонения, обеспечивающие повышение быстродействия СМК, выделены жирным шрифтом.

Первоначально выполнялись изменения только значимых элементов системной матрицы, в результате которых при $k_1 = k_2 = 1$ были установлены существенные изменения ее собственных чисел, что не привело к достижению целей. Так, при $a_{ij} \pm 0.1/a_{ij}$: $\lambda_{1,2} = -0.642 \pm 0.84i$, $\lambda_{3,4} = -0.363 \pm 0.679i$, $x_1(T) = 0.218$, $x_2(T) = 0.917$; при $a_{ij} \pm 0.2/a_{ij}$: $\lambda_{1,2} = -0.66 \pm 0.826i$, $\lambda_{3,4} = -0.436 \pm 0.634i$, $x_1(T) = 0.217$, $x_2(T) = 0.916$; при $a_{ij} \pm 0.5/a_{ij}$: $\lambda_{1,2} = -0.727 \pm 0.93i$, $\lambda_3 = -0.38$, $\lambda_4 = -0.906$, $x_1(T) = 0.213$, $x_2(T) = 0.916$.

Таблица №1

Предварительный анализ чувствительности при $a_{ij} \pm 0.1/a_{ij}$

$a_{ij} \pm 0.1/a_{ij}$	Re $\lambda_{1,2}$	Re $\lambda_{1,2}$ от Re $\lambda_{1,2нач}$, %	Re $\lambda_{3,4}$	Re $\lambda_{3,4}$ от Re $\lambda_{3,4нач}$, %	Im $\lambda_{1,2}$	Im $\lambda_{1,2}$ от Im $\lambda_{1,2нач}$, %	Im $\lambda_{3,4}$	Im $\lambda_{3,4}$ от Im $\lambda_{3,4нач}$, %
$a_{31} + 0.1/a_{31}$	-0.592	99.3	-0.321	100.9	± 0.853	97.7	± 0.666	95.0
$a_{32} + 0.1/a_{32}$	-0.596	100.0	-0.317	99.7	± 0.881	100.9	± 0.692	98.7
$a_{33} + 0.1/a_{33}$	-0.577	96.8	-0.292	91.8	± 0.886	101.5	± 0.713	101.7
$a_{34} + 0.1/a_{34}$	-0.602	101.0	-0.311	97.8	± 0.869	99.5	± 0.704	100.4
$a_{41} + 0.1/a_{41}$	-0.596	100.0	-0.318	100.0	± 0.881	100.9	± 0.692	98.7
$a_{42} + 0.1/a_{42}$	-0.595	99.8	-0.318	100.0	± 0.845	96.8	± 0.671	95.7
$a_{43} + 0.1/a_{43}$	-0.603	101.2	-0.311	97.8	± 0.869	99.5	± 0.704	100.4
$a_{44} + 0.1/a_{44}$	-0.569	95.5	-0.298	93.7	± 0.887	101.6	± 0.713	101.7
$a_{31} - 0.1/a_{31}$	-0.595	99.8	-0.318	100.0	± 0.895	102.5	± 0.732	104.4
$a_{32} - 0.1/a_{32}$	-0.596	100.0	-0.318	100.0	± 0.866	99.2	± 0.711	101.4
$a_{33} - 0.1/a_{33}$	-0.614	103.0	-0.344	108.2	± 0.856	98.1	± 0.692	98.7
$a_{34} - 0.1/a_{34}$	-0.589	98.8	-0.325	102.2	± 0.879	100.7	± 0.698	99.6
$a_{41} - 0.1/a_{41}$	-0.596	100.0	-0.318	100.0	± 0.866	99.2	± 0.711	101.4
$a_{42} - 0.1/a_{42}$	-0.592	99.3	-0.321	100.9	± 0.902	103.3	± 0.727	103.7
$a_{43} - 0.1/a_{43}$	-0.589	98.8	-0.325	102.2	± 0.878	100.6	± 0.698	99.6
$a_{44} - 0.1/a_{44}$	-0.623	104.5	-0.338	106.3	± 0.854	97.8	± 0.692	98.7

Таблица №2

Предварительный анализ чувствительности при $a_{ij} \pm 0.2/a_{ij}$

$a_{ij} \pm 0.2/a_{ij}$	Re $\lambda_{1,2}$	Re $\lambda_{1,2}$ от Re $\lambda_{1,2нач}$, %	Re $\lambda_{3,4}$	Re $\lambda_{3,4}$ от Re $\lambda_{3,4нач}$, %	Im $\lambda_{1,2}$	Im $\lambda_{1,2}$ от Im $\lambda_{1,2нач}$, %	Im $\lambda_{3,4}$	Im $\lambda_{3,4}$ от Im $\lambda_{3,4нач}$, %
$a_{31}+0.2 a_{31} $	-0.586	98.3	-0.328	103.1	± 0.835	95.6	± 0.624	89.0
$a_{32}+0.2 a_{32} $	-0.597	100.2	-0.317	99.7	± 0.888	101.7	± 0.683	97.4
$a_{33}+0.2 a_{33} $	-0.559	93.8	-0.266	83.6	± 0.893	102.3	± 0.726	103.6
$a_{34}+0.2 a_{34} $	-0.609	102.2	-0.304	95.6	± 0.864	99.0	± 0.707	100.9
$a_{41}+0.2 a_{41} $	-0.596	100.0	-0.317	99.7	± 0.888	101.7	± 0.683	97.4
$a_{42}+0.2 a_{42} $	-0.590	99.0	-0.324	101.9	± 0.818	93.7	± 0.635	90.6
$a_{43}+0.2 a_{43} $	-0.610	102.3	-0.304	95.6	± 0.865	99.1	± 0.707	100.9
$a_{44}+0.2 a_{44} $	-0.542	90.9	-0.277	87.1	± 0.894	102.4	± 0.727	103.7
$a_{31}-0.2 a_{31} $	-0.592	99.3	-0.321	100.9	± 0.916	104.9	± 0.759	108.3
$a_{32}-0.2 a_{32} $	-0.596	100.0	-0.318	100.0	± 0.858	98.3	± 0.720	102.7
$a_{33}-0.2 a_{33} $	-0.632	106.0	-0.371	116.7	± 0.831	95.2	± 0.686	97.9
$a_{34}-0.2 a_{34} $	-0.582	97.7	-0.331	104.1	± 0.884	101.3	± 0.694	99.0
$a_{41}-0.2 a_{41} $	-0.597	100.2	-0.317	99.7	± 0.859	98.4	± 0.720	102.7
$a_{42}-0.2 a_{42} $	-0.586	98.3	-0.328	103.1	± 0.932	106.8	± 0.748	106.7
$a_{43}-0.2 a_{43} $	-0.582	97.7	-0.332	104.4	± 0.884	101.3	± 0.694	99.0
$a_{44}-0.2 a_{44} $	-0.650	109.1	-0.358	112.6	± 0.827	94.7	± 0.686	97.9

Таблица № 3

Предварительный анализ чувствительности при $a_{ij} \pm 0.5/a_{ij}$

$a_{ij} \pm 0.5/a_{ij}$	Re $\lambda_{1,2}$	Re $\lambda_{1,2}$ от Re $\lambda_{1,2нач}$, %	Re $\lambda_{3,4}$	Re $\lambda_{3,4}$ от Re $\lambda_{3,4нач}$, %	Im $\lambda_{1,2}$	Im $\lambda_{1,2}$ от Im $\lambda_{1,2нач}$, %	Im $\lambda_{3,4}$	Im $\lambda_{3,4}$ от Im $\lambda_{3,4нач}$, %
$a_{31}+0.5 a_{31} $	-0.549	92.1	-0.364	114.5	± 0.802	91.9	± 0.427	60.9
$a_{32}+0.5 a_{32} $	-0.600	100.7	-0.314	98.7	± 0.908	104.0	± 0.658	93.9
$a_{33}+0.5 a_{33} $	-0.513	86.1	-0.178	56.0	± 0.893	102.3	± 0.770	109.8
$a_{34}+0.5 a_{34} $	-0.629	105.5	-0.285	89.6	± 0.853	97.7	± 0.713	101.7
$a_{41}+0.5 a_{41} $	-0.598	100.3	-0.315	99.1	± 0.907	103.9	± 0.658	93.9
$a_{42}+0.5 a_{42} $	-0.542	90.9	-0.372	117.0	± 0.762	87.3	± 0.500	71.3
$a_{43}+0.5 a_{43} $	-0.630	105.7	-0.284	89.3	± 0.854	97.8	± 0.713	101.7
$a_{44}+0.5 a_{44} $	-0.477	80.0	-0.202	63.5	± 0.883	101.1	± 0.785	112.0
$a_{31}-0.5 a_{31} $	-0.565	94.8	-0.348	109.4	± 0.987	113.1	± 0.821	117.1
$a_{32}-0.5 a_{32} $	-0.600	100.7	-0.314	98.7	± 0.834	95.5	± 0.749	106.8
$a_{33}-0.5 a_{33} $	-0.680	114.1	-0.455	143.1	± 0.693	79.4	± 0.704	100.4
$a_{34}-0.5 a_{34} $	-0.564	94.6	-0.350	110.1	± 0.903	103.4	± 0.680	97.0
$a_{41}-0.5 a_{41} $	-0.601	100.8	-0.312	98.1	± 0.836	95.8	± 0.748	106.7
$a_{42}-0.5 a_{42} $	-0.555	93.1	-0.359	112.9	± 1.030	118.0	± 0.789	112.6
$a_{43}-0.5 a_{43} $	-0.562	94.3	-0.352	110.7	± 0.902	103.3	± 0.681	97.1
$a_{44}-0.5 a_{44} $	-0.733	123.0	-0.415	130.5	± 0.692	79.3	± 0.693	98.9

Далее выполнялись изменения всех тех элементов матрицы A , которые приводят к повышению быстродействия СМК, что при $k_1 = k_2 = 1$, также не привело к достижению целей:

1) $a_{ij} \pm 0.1/a_{ij}$, $\lambda_{1,2} = -0.618 \pm 0.864i$ и $\lambda_{3,4} = -0.387 \pm 0.656i$, $x_1(T) = 0.217$ и $x_2(T) = 0.917$;

2) $a_{ij} \pm 0.2/a_{ij}$, $\lambda_{1,2} = -0.633 \pm 0.871i$ и $\lambda_{3,4} = -0.463 \pm 0.5764i$, $x_1(T) = 0.216$ и $x_2(T) = 0.917$;

3) $a_{ij} \pm 0.5/a_{ij}$, $\lambda_{1,2} = -0.727 \pm 0.93i$, $\lambda_3 = -0.38$ и $\lambda_4 = -0.906$, $x_1(T) = 0.213$ и $x_2(T) = 0.916$.

Из полученных результатов видно, что на оперативном и тактическом уровнях применение только модального управления, хотя и позволяет повысить устойчивость СМК, но не обеспечивает достижения поставленных целей в течение планового периода времени. Достижение целей возможно посредством программного управления, за счет простого увеличения значений коэффициентов k_1 и k_2 [10], но в данной работе такое завышение плановых значений целей в области качества не рассматривается.

При выполнении п.3 подхода сначала оценивалась достижимость целей на основе только линейного регулирования, при этом обратные связи приводят к изменению элементов матрицы A : $a_{31} = -0.815(1 + K_1)$ и $a_{42} = -0.896(1 + K_2)$; которые характеризуют потенциал организации при достижении первой и второй целей, соответственно. Достижимость целей ($x_1(T) = 0.233$ и $x_2(T) = 0.93$) обеспечивалась при наименьших значениях коэффициентов усиления обратной связи $K_1 = 2.5$ и $K_2 = 1.8$. Такие значения коэффициентов усиления организационно можно реализовать только при сверхжестком стиле управления, когда персоналу доносится информация о несоответствиях не один раз в день. Такое управление не соответствует принципам Всеобщего Управления Качеством и не может реализовываться постоянно [11, 12].

Далее осуществлялось зондирование пространства коэффициентов для определения области приемлемых значений элементов системной матрицы: a_{31} и a_{42} (характер изменения показан выше), a_{33} и a_{44} . При этом изменения элементов a_{33} и a_{44} выполнялось так: $a_{33} = -0.889(1 - \varepsilon)$, $a_{44} = -0.938(1 - \varepsilon)$. Выбор элементов a_{33} и a_{44} обусловлен наибольшей чувствительностью собственных чисел матрицы A к их изменению (табл. 1-3), а обоснованием направления изменений этих элементов служит то, что приоритетным является достижение поставленных целей (быстродействия СМК), но не ее устойчивости. Результаты зондирования пространства коэффициентов K_1 , K_2 и ε приведены в табл. 4.

К основному результату данных табл. 4 отнесем необязательность безусловного выполнения требования к устойчивости СМК на оперативном и тактическом уровнях управления. Наоборот, именно нахождение СМК в неустойчивом состоянии позволяет повысить ее быстродействие при достижении поставленных целей в области качества, что отражено на рис. 1.

Таблица № 4

Значения элементов системной матрицы
при зондировании пространства коэффициентов

a_{31}	a_{42}	a_{33}	a_{44}	$\lambda_{1,2}$	$\lambda_{3,4}$
$\varepsilon = 0; K_1 = 2.5; K_2 = 1.8$					
-2.853	-2.509	-0.889	-0.938	$-0.583 \pm 1.606i$	$-0.331 \pm 1.523i$
$\varepsilon = 0.1; K_1 = 2.4; K_2 = 1.6$					
-2.771	-2.33	-0.80	-0.844	$-0.592 \pm 1.583i$	$-0.293 \pm 1.485i$
$\varepsilon = 0.5; K_1 = 1.9; K_2 = 0.9$					
-2.364	-1.702	-0.445	-0.469	$-0.324 \pm 1.488i$	$-0.133 \pm 1.299i$
$\varepsilon = 0.6; K_1 = 1.7; K_2 = 0.8$					
-2.20	-1.613	-0.356	-0.375	$-0.287 \pm 1.452i$	$-0.78 \pm 1.258i$
$\varepsilon = 0.9; K_1 = 1.3; K_2 = 0.4$					
-1.875	-1.254	-0.09	-0.094	$-0.15 \pm 1.3642i$	$0.059 \pm 1.1i$
$\varepsilon = 1.0; K_1 = 1.2; K_2 = 0.3$					
-1.73	-1.165-1.875	0	0	$-0.105 \pm 1.342i$	$0.105 \pm 1.052i$
$\varepsilon = 1.1; K_1 = 1.1; K_2 = 0.1$					
-1.712	-0.986-1.73	0.089	0.094	$-0.105 \pm 1.34i$	$0.105 \pm 1.053i$
$\varepsilon = 1.5; K_1 = 0.6; K_2 = 0.0$					
-1.304	-0.896	0.445	0.469	$0.102 \pm 1.179i$	$0.355 \pm 0.813i$

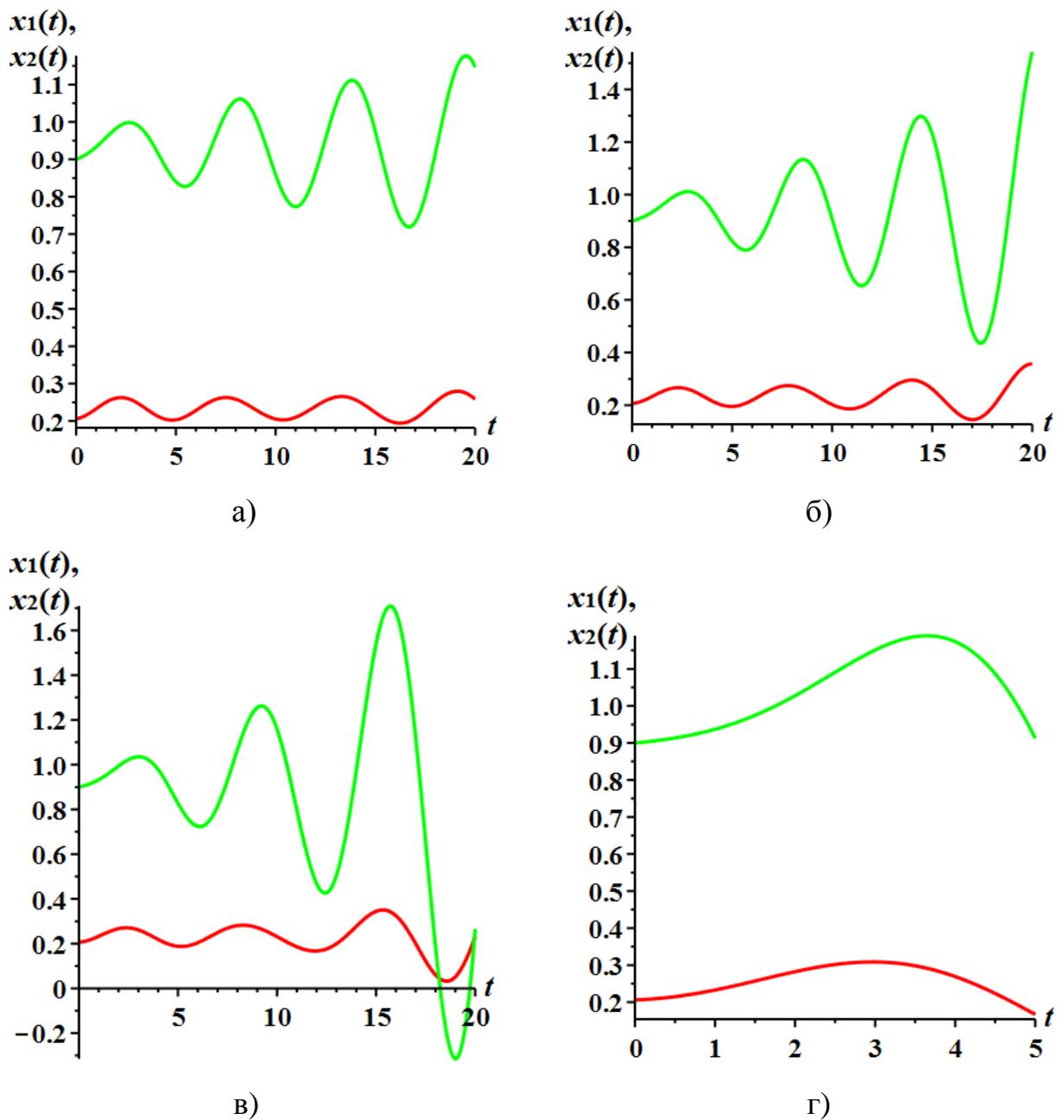


Рис. 1. – Динамика целевых показателей ($x_1(t)$ – красный цвет, $x_2(t)$ – зеленый цвет) в неустойчивом состоянии СМК при:

а) $\varepsilon = 0.9$; $K_1 = 1.3$; $K_2 = 0.4$; б) $\varepsilon = 1.0$; $K_1 = 1.2$; $K_2 = 0.3$;

в) $\varepsilon = 1.1$; $K_1 = 1.1$; $K_2 = 0.1$; г) $\varepsilon = 1.5$; $K_1 = 0.6$; $K_2 = 0$

Влияние неустойчивости на снижение значений целей начинает сказываться только через 2-3 года. На рассматриваемом интервале времени $t = 0 \dots 1$ год быстродействие СМК существенно повышается.

Далее по п.3 определим два сценария изменений элементов системной матрицы для работы СМК в неустойчивом состоянии:

- 1) слабая неустойчивость, соответствует рис.1а ($\varepsilon=0.9$; $K_1=1.3$; $K_2=0.4$);
- 2) сильная неустойчивость, соответствует рис.1г ($\varepsilon=1.5$; $K_1=0.6$; $K_2=0$).

При слабой неустойчивости происходит снижение составляющих потенциала, используемого при непосредственном достижении каждой из поставленных целей, с относительным повышением составляющих потенциала для достижения другой цели. Иначе говоря, персонал и оборудование, занятые достижением первой цели, отвлекаются на достижение второй цели, и наоборот. При этом осуществляется существенное снижение сопротивления персонала, вызываемое таким перераспределением потенциала предприятия. Способ реализации этого сценария не связан с линейным регулированием посредством реализации положительных обратных связей, а осуществляется прямым директивным изменением составляющих потенциала по указанию руководства и может быть отнесен к модальному управлению.

При сильной неустойчивости снижается составляющая потенциала, используемая только при достижении первой цели, а составляющая для достижения второй цели остается неизменной. Иными словами, персонал и оборудование, участвующие в достижении первой цели, отвлекаются на достижение второй цели через реализацию положительной обратной связи. Вместе с тем, вместо сопротивления персонала появляется его поддержка директивных изменений при перераспределении составляющих потенциала предприятия. Способ реализации второго сценария может быть реализован сочетанием линейного регулирования и модального управления.

Оба рассмотренных сценария не предназначены для длительной работы предприятия, их можно рассматривать как реализацию мобилизационного

плана действий при наличии значительных угроз со стороны конкурентов и других составляющих внешней среды.

В соответствии с п. 4, был выполнен поиск оптимального решения на основе учета затрат по выражению (6), где были приняты следующие величины затрат: $\rho_1 = \rho_2 = 1000$ при значениях коэффициентов: $\varepsilon = 0.9$ и $\varepsilon = 1.5$.

Графики зависимостей функционала для $\varepsilon = 0.9$ и $\varepsilon = 1.5$ представлены на рис. 2.

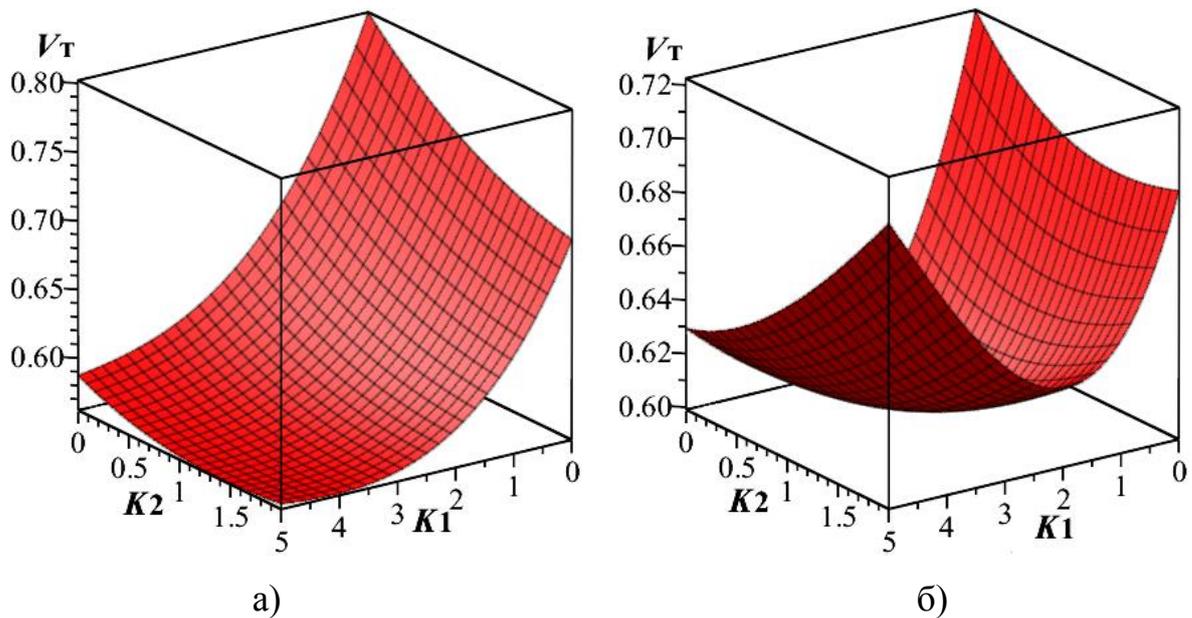


Рис. 2. – Зависимости функционала от K_1 и K_2 при: а) $\varepsilon = 0.9$; б) $\varepsilon = 1.5$

При $\varepsilon = 0.9$ минимальное значение функционала $V_T = 0.53$ достигается при значениях коэффициентов $K_1 = 13.086$; $K_2 = 0.301$, однако при этом значения целей будут равны: $x_1(1) = 0.217$ и $x_2(1) = 0.945$, то есть не выполняется требование безусловной достижимости каждой цели. При рассмотренных ранее значениях $K_1 = 1.3$ и $K_2 = 0.4$ значение функционала составляет $V_T = 0.66$, причем достижение поставленных целей обеспечивается. Поскольку разница между значениями функционала составляет 24.5%, то первый сценарий дает рациональное решение.

При $\varepsilon = 1.5$ минимальное значение функционала $V_T = 0.6$ достигается при значениях коэффициентов $K_1 = 2.601$; $K_2 = 0.449$, при этом значения целей будут равны: $x_1(1) = 0.248$ и $x_2(1) = 0.949$, то есть каждая из целей существенно превышает требуемые значения. При рассмотренных ранее значениях $K_1 = 0.6$ и $K_2 = 0$ значение функционала $V_T = 0.67$, при котором обеспечивается точное достижение целей. Здесь разница между значениями функционала составляет 12%, – это говорит о том, что данное решение является практически оптимальным.

Заключение

Итак, в данной работе рассмотрен подход к сочетанию модального управления и линейного регулирования при обеспечении безусловного достижения целей промышленных предприятий с оптимизацией затрат при оперативном и тактическом управлении системами менеджмента качества. Установлено, что модальное управление не имеет преимуществ по сравнению с линейным регулированием, поскольку оно используется для повышения устойчивости систем. Быстродействие СМК можно обеспечить при ее работе в неустойчивом режиме, что показано на соответствующих примерах, однако использование этого режима не может превышать 2-3 лет. Таким образом, доказано, что требование к устойчивости СМК на оперативном и тактическом уровнях управления не является обязательным.

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

Литература

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



2. Анцев В.Ю., Иноземцев А.Н. Всеобщее управление качеством. Тула: Изд-во ТулГУ, 2005. 243 с.
 3. Kaplan R.S., Norton D.P. The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action. Boston: Harvard Business School Press, 1996. 329 p.
 4. Lundgren M., Hedlind M., Li Yu, Kjellberg, T. Human-Centered Model-driven Process and Quality Planning. Procedia CIRP. Vol. 84, 362-367 (2019). DOI: 10.1016/j.procir.2019.04.326.
 5. Хлебников М.В., Щербаков П.С., Честнов В.Н. Задача линейно-квадратичного управления: I. Новое решение // Автоматика и телемеханика. 2015. № 12. С. 65-79.
 6. Кириченко Н.Ф., Матвиенко В.Т. Оптимальный синтез структур для линейных систем управления // Проблемы управления и информатики. 1996. № 1-2. С. 162-171.
 7. Гитман М.Б., Столбов В.Ю., Федосеев С.А. Математическая модель управления качеством продукции // Качество в обработке материалов. 2014. №1. С. 21-26.
 8. 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.
 9. Ивахненко А.Г., Аникеева О.В. Оптимальное управление при достижении целей в области качества промышленного предприятия // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2021. Т.23, № 4. С. 18-26. DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-4-18-26.
 10. Ивахненко А.Г., Аникеева О.В. Взаимодействие подсистем предприятий при целевом управлении качеством продукции // Вестник Брянского государственного технического университета. 2020. № 11 (96). С. 44-51. DOI: doi.org/10.30987/1999-8775-2020-11-44-51.
-

11. Клавдиенко Н.В., Мирошниченко Д.А. Формирование системы обеспечения качества продукции на основе применения процессного подхода // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 1). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1087/.

12. Паштова Л.Г. Актуальные вопросы организации и управления производством на предприятии // Инженерный вестник Дона, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2442/.

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

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

4. Lundgren, M., Hedlind, M., Li, Yu., Kjellberg, T. Human-Centered Model-driven Process and Quality Planning. Procedia CIRP. Vol. 84, 362-367 (2019). DOI: 10.1016/j.procir.2019.04.326.

5. Khlebnikov M.V., Shcherbakov P.S., Chestnov V.N. Avtomatika i telemekhanika. 2015. № 12. pp. 65-79.

6. Kirichenko N.F., Matviyenko V.T. Problemy upravleniya i informatiki. 1996. № 1-2. pp. 162-171.

7. Gitman M.B., Stolbov V.YU., Fedoseyev S.A. Kachestvo v obrabotke materialov. 2014. №1. pp. 21-26.

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



9. Ivakhnenko A.G., Anikeeva O.V. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. 2021. V.23. № 4. pp. 18-26. DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-4-18-26.

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

11. Klavdiyenko N.V., Miroshnichenko D.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №4 (1). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1087/.

12. Pashtova L.G. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2442/.