
УДК 517.977

Результаты моделирования многозвенной системы управления конструкторским звеном и производством авиационной техники в условиях конкуренции

Лебедев Г.Н.*, Дао НгокТхай**

Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет),

МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия

**e-mail: kaf301@mail.ru*

***e-mail: thaimoshan@gmail.com*

Аннотация

В данной работе продолжены представленные в [1] исследования системы управления многозвенным предприятием, чтобы получить ответ на вопрос - как распределять ресурсы между звеньями аналогичного характера, чтобы добиться максимальной эффективности производства.

Ключевые слова: управление, авиационная техника, производство, конструкторское звено

1. Постановка задачи

1. Рассматривается система управления предприятием, содержащая в общем случае два производственных и два конструкторских звена, модели спроса продукции и формирования прибыли в условиях переменной рентабельности, как показано на рис.1

Также принято допущение, что основная деятельность конструкторских звеньев происходит в благоприятный период $[0.1T_0 \div 0.3T_0]$ роста положительной рентабельности, как это показано на рис. 2

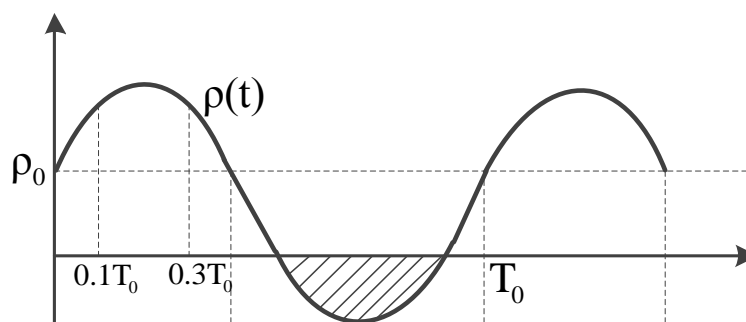


Рис. 2 Переменная рентабельность в благоприятный и неблагоприятный период

3. Задана предложенная в [3] модель конструкторского звена, отображающая рост качества X_4 новой продукции

$$\dot{X}_4 = \frac{U_0}{T_K} (K_{\max} - X_4); \quad X_4(0) = K_{\min} \quad (3)$$

где T_K - постоянная времени задержки в появлении новых проектных разработок; U_0 - доля дохода, отводимая на затраты опытно-конструкторских работ и подвергаемая в данной работе оптимальному выбору и распределению между отдельными конструкторскими звеньями; K_{\max} и K_{\min} - заданные пределы изменения качества продукции в нормированных единицах;

4. Задана сформированная и описанная в [3] модель спроса продукции, особенность которой состоит в том, что темп продаж зависит в первую очередь

не только от качества с коэффициентом C_1 , а от скорости его повышения с коэффициентом $C_2 > C_1$, при условии $C_1 + C_2 = 1$,

$$\dot{X}_5 = \frac{1}{T_c} \left[C_1 X_4 + \frac{C_2}{T_k} (1 - \dot{X}_4) U_0 - X_2 \right] \quad (4)$$

где T_c - постоянная времени задержки в повышении спроса; X_3 - накапливаемая прибыль в банке; X_5 - значение спроса на новую продукцию; X_4 - растущее значение качества авиационной техники со скоростью \dot{X}_4 ;

5. Темп продаж X_7 или X_8 продукции определяется как минимум значений спроса X_5 или X_6 и предложения X_1 или X_2 выпускаемой продукции. Часть дохода, неиспользованная на предприятии, накапливается в виде прибыли X_3 в банке в результате работы двух производственных звеньев. Перечисленные условия (1-4) позволяют компактно описать динамику поведения части предприятия, занимающейся проектированием, производством и сбытом новой авиационной техники;

6. В конце заданного периода T_0 деятельности предприятия эффективность его работы определяется главным показателем - хорошо проявившим себя критерием эффективности J , учитывающим в нелинейной свертке как прибыль X_3 , так и скорость выпуска продукции X_1 и X_2

$$Y = K_1(X_1 + X_2) + K_2 X_3 + K_3 \sqrt{(X_1 + X_2) X_3} \quad (5)$$

Требуется- решить задачу распределения средств между несколькими конструкторскими звеньями с учетом времени проектирования новой техники, и определить порядок внедрения в производство процесса выпуска новой продукции в разные производственные звенья.

Поставленная задача решается в данной работе поэтапно с помощью моделирования в среде MATLAB.

2. Предварительная оценка повышения качества создаваемой авиационной техники при проведении опытно - конструкторских работ

При создании новой авиационной техники важно выбрать те основные направления конструкторских разработок, которые дадут наибольший эффект и тем самым увеличат спрос на выпускаемую продукцию. В данной работе к таким направлениям относятся три разработки - создание новой конструкции самого самолета, разработка нового бортового оборудования и создание нового авиационного двигателя.

Качество новых изделий характеризуется множеством технико-экономических показателей, задача их полного учета в работе не ставится, а решается вопрос оценки скорости их улучшения в отдельности и повышения качества в целом по каждому направлению в виде некоторой свертки. Рассмотрим следующие примеры, взяв в качестве первого оценку повышения качества бортового оборудования.

В таблице 1 приведены некоторые данные совершенствования бортового оборудования для гражданской авиации за последние 10 ÷ 20 лет[4].

№	параметры	повышение качества ΔK_1	период T_1	скорость $\frac{\Delta K_1}{T_1}$	средняя скорость $\frac{\Delta K_1}{T_1}$
1	точность навигации	в 4 раз	4 года	1.00	0.4
2	быстродействие рулевых приводов	в 1.2 раза	5 лет	0.04	
3	вероятность отказа	в 1.3 раза	5 лет	0.06	
4	эргономичность	в 3 раза	6 лет	0.50	

Таблица 1. Данные повышения качества бортового оборудования

Из таблицы 1 видно, что главными показателями улучшения стали повышение точности из-за появления спутниковой навигации и расширение объема представляемой экипажу информации с помощью компьютеров, а при определении свертки взято среднее значение показателей улучшения качества оборудования

$$\frac{\Delta K_1}{T_1} = \sum_{i=1}^4 \frac{\Delta K_{1i}}{T_{1i}} = \frac{1+0.04+0.06+0.5}{4} = 0.4$$

Средняя скорость повышения качества оборудования составила $\Delta K_1=0.4$ и при этом средний период проведения ОКР $T_1=5$ лет.

В таблице 2 приведены некоторые данные совершенствования авиационных двигателей[5, 6].

№	параметры	повышение качества ΔK_2	период T_2	скорость $\frac{\Delta K_2}{T_2}$	средняя скорость $\frac{\Delta K_2}{T_2}$
1	тяга вооруженность	в 1.5 раза	10 лет	0.15	0.2
2	КПД, удельный расход топлива	в 1.2 раза	10 лет	0.12	
3	вероятность отказа	в 2 раза	15 лет	0.13	
4	уровень шума и вредных выбросов	в 2 раза	5 лет	0.4	

Таблица 2: Данные повышения качества авиационных двигателей

Из таблицы 2 видно, что при определении свертки взято среднее значение отдельных показателей скорости повышения качества

$$\frac{\Delta K_2}{T_2} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \frac{\Delta K_i}{T_i} = \frac{0.15+0.12+0.13+0.4}{4} = 0.2$$

При этом главным показателем улучшения в последние годы стало снижение уровне шума, само значение свертки безразмерно, а средний период проведения ОКР составляет $T_2=10$ лет.

Наиболее трудоемкой и в тоже время самой важной задачей является созданием новых конструкций ЛА, преимущества которых определяется повышенной грузоподъемностью, аэродинамическим качеством, управляемостью, прочностью и. т. д., что можно свести к таблице 3 для пассажирской авиации[7].

№	параметры	повышение	период	скорость	средняя
---	-----------	-----------	--------	----------	---------

		качества			скорость $\frac{\Delta K_3}{T_3}$
1	грузоподъемность	в 2 раза	10 лет	0.18	0.15
2	аэродинамическое качество	в 1.5 раза	10 лет	0.12	
3	управляемость	в 2 раза	10 лет	0.15	
4	прочность (надежность конструкции)	в 1.5 раз	10 лет	0.15	

Таблица 3. Данные повышения качества пассажирской авиации

Полученная оценка $\frac{\Delta K_3}{T_3} = 0,15$ является минимальный среди трёх направлений, а значение $T_3=10$ лет также подтверждает факт наибольшей трудоемкости создания авиационных конструкций.

Полученные средние оценки не претендуют на полноту используемой статистики, но и они позволяют указать на следующие тенденции:

- ряд ОКР могут принести быстрый рост повышения качества, но сроки получения благоприятного эффекта минимальны ($T_1 < T_2 < T_3$);

- непрерывное длительное улучшение качества за счет поочередного создания множества новых элементов обеспечивается при минимальной

скорости ($\frac{\Delta K_3}{T_3} < \frac{\Delta K_1}{T_1} < \frac{\Delta K_2}{T_2}$);

- суммарная средняя скорость $\sum_{i=1}^n \frac{\Delta K_i}{T_i}$ повышения качества авиационной

техники близка к единице.

Кроме того, в приведенных оценках не анализировалась стоимость затрат по каждому направлению, а также численность отдельных коллективов в конструкторском бюро предприятия. Поэтому полученные оценки можно считать приведенными на единицу затрат. Назовем эти оценки удельными скоростями $\frac{\Delta K_i}{T_i}$ повышения качества. Эти результаты использованы ниже при проведении моделирования на ЭБМ.

3. Результаты моделирования многозвенной системы управления конструкторским звеном и производством авиационной техники в условиях конкуренции

На первом этапе моделирования рассмотрен случай, когда производственное звено одно ($n=1$), конструкторских звеньев (отделов) несколько ($m>1$), и нужно решить вопрос распределения средств между этими звеньями. Задача решалась при следующих допущениях. В частности, второе производственное звено в конце заданного периода T_0 своей работы характеризуется скоростью выпуска продукции X_2 , а конструкторское звено №2 состоит из двух отделов и характеризуется спросом X_6 .

3.1 Задача распределения средств между двумя конструкторскими отделами.

Как показали результаты предварительного моделирования, при повышении в каждом отделе ожидаемого качества ΔK_i создаваемой продукции и при снижении ожидаемого времени T_i изменения этого качества, доля средств должна быть увеличена. В связи с этим возникла гипотеза учитывать прежде всего в каждом звене скорость повышения качества, равную $\frac{\Delta K_i}{T_i}$, от которой зависит доля δ_i располагаемого объёма средств, равного U_0 , вследствие чего может быть предложена следующая линейная модель

$$\delta_i = \frac{\frac{\Delta K_i}{T_i}}{\sum_{i=1}^m \frac{\Delta K_i}{T_i}} \quad (6)$$

где m - число конструкторских отделов; ΔK_i - ожидаемое изменение качества выпускаемой продукции в i -том отделе; T_i - время достижения нужного качества в этом отделе.

Результаты моделирования работы двух параллельно действующих конструкторских отделов представлены в таблице 4

$U_0=0.02$ $a=0.7$ $b=0.6$ $a=0.5$	δ	КРИТЕРИЙ		δ	КРИТЕРИЙ
	0	30.20		0	30.20
	0.1	30.25		0.1	30.21
	0.3	30.33		0.3	30.22
	0.5	30.39		0.5	30.22

	0.6	30.42	$U_0=0.02$ $a=0.6$ $b=0.6$ $\frac{a}{a+b}=0.5$	0.6	30.21
	0.7	30.44		0.7	30.20
	0.9	30.47		0.9	30.16
	1	30.47		1	30.13
$U_0=0.02$ $a=0.7$ $b=0.65$ $\frac{a}{a+b}=0.6$	δ	КРИТЕРИЙ	$U_0=0.02$ $a=0.6$ $b=0.55$ $\frac{a}{a+b}=0.5$	δ	КРИТЕРИЙ
	0	30.37		0	30.02
	0.1	30.40		0.1	30.05
	0.3	30.45		0.3	30.10
	0.5	30.48		0.5	30.13
	0.6	30.49		0.6	30.14
	0.7	30.49		0.7	30.14
	0.9	30.48		0.9	30.14
1	30.47	1	30.13		

Таблица 4 Результаты моделирования двух конструкторских отделов

Результаты моделирования проводились при следующих условиях - работают два конструкторских отдела, т.е. $m=2$. Общая доля средств, отводимых на конструкторские разработки, составляет 2% от получаемого при сбыте продукции дохода, что соответствует $U_0=0.02$; времена $T_1=0,5$; $T_2=1$. Это значит, что первое звено создает новое качество два раза быстрее, чем второе звено. При принятых $m=2$ обозначениях в виде $\frac{\Delta K_1}{T_1}=a$ и $\frac{\Delta K_2}{T_2}=b$ можно получить простую формулу, проверенную помощью моделирования на ЭВМ, что подтверждается таблицей 4.

$$\delta_1 = \frac{a}{a+b} \quad (7)$$

Чтобы полностью убедиться в этом, зададимся следующей целью моделирования: меняя возможные на практике значения a и b , но так чтобы

$a+b=1$, найдем экспериментально такие значения δ_1 и $\delta_2=1-\delta_1$, при которых главный критерий эффективности окажется максимальным. Затем проверим, соответствуют ли полученные результаты высказанной гипотезе (б).

Результаты моделирования показаны в трёх таблицах 5а, 5б, 5в. В них представлены результаты, которые дают разные значения критерия эффективности, и выделенные среди них цифры - достижение наибольшего значения J.

U_0	δ	<i>КРИТЕРИЙ</i>	U_0	δ	<i>КРИТЕРИЙ</i>	U_0	δ	<i>КРИТЕРИЙ</i>
0.02	0	30.37	0.02	0	30.47	0.02	0	30.37
	0.1	30.42		0.1	30.49		0.1	30.40
	0.3	30.45		0.3	30.49		0.3	30.45
	0.5	30.47		0.5	30.49		0.5	30.48
	0.6	30.48		0.6	30.49		0.6	30.49
	0.7	30.49		0.7	30.47		0.7	30.49
	0.9	30.49		0.9	30.43		0.9	30.48
	1	30.47		1	30.37		1	30.47
<i>5а</i>			<i>5б</i>			<i>5в</i>		

Таблица 5 Результаты моделирования распределения средств между двумя конструкторскими звеньями

Каждая из этих трех таблиц соответствует трем возможным случаям распределения средств, как показано на рис.3:

- 1-ый случай: все средства вначале отдаются первому отделу, а потом - второму;
- 2-ой случай: все средства вначале отдаются второму отделу, а потом - первому;

- 3-ий случай: эти средства одновременно распределяются между отделами в определенном отношении δ , и они работают одновременно.

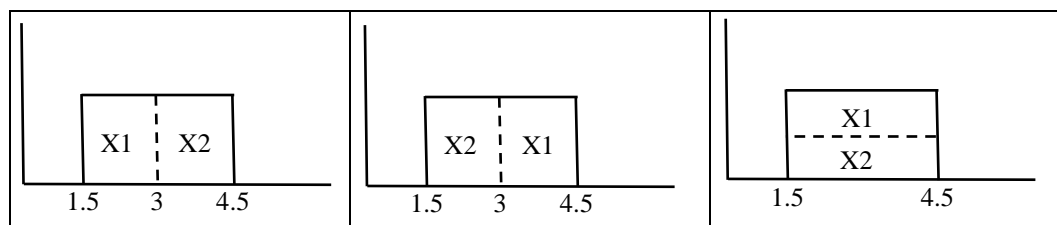


Рис. 3 Варианты распределения средств между двумя конструкторскими звеньями

При условии, что суммы всех средств, отводимых в каждом варианте на конструкторские работы одинаковы, в результате моделирования оказалось:

1. Лучшим вариантом является решение отдать вначале все средства отделу,

у которого отношение $\frac{\Delta K_i}{T_i}$ максимально, то есть максимальна скорость

повышения качества, что сразу повышает спрос на выпускаемую продукцию;

2. Разница в трех случаях порядка использования распределения средств незначительна;

3. Полученные в результате моделирования оптимальные значения доли δ_1 и δ_2 средств хорошо согласуются с выдвинутой гипотезой (6),

согласно которой эти доли линейно зависят от ожидаемой скорости $\frac{\Delta K_i}{T_i}$

повышения качества вновь создаваемой продукции в каждом конструкторском отделе.

3.2 Задача выбора управления, определяющего долю средств, отводимых в целом на все конструкторские работы.

Из высказанных выше соображений, говорящих о том, что чем выше скорость повышения качества, тем больше нужно для этого предоставить средств, возьмем в качестве первой рабочей гипотезы также некоторую линейную модель

$$U_0=L_1 \frac{\sum \Delta K_i}{\sum T_i} \quad (8)$$

или при $m=2$ с учетом принятых обозначений имеем

$$U_0=L_1(a+b) \quad (9)$$

В качестве второй гипотезы можно представить другую линейную модель, используя зависимость от отношения общих сумм $\sum \Delta K_i$ и $\sum T_i$

$$U_0=L_2 \left(\sum_{i=1}^n \frac{\Delta K_i}{T_i} \right) \quad (10)$$

В качестве третьей гипотезы можно представить, что при распределении средств учитывается не только доля, но и время, отведенное на работу при использовании этой доли, что определяется произведением $\Delta_i = \delta_i T_i$. Отсюда получим формулу

$$U_0=L_3 \frac{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\Delta K_i}{T_i} \right)^2}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\Delta K_i}{T_i} \right)} \quad (11)$$

Цель моделирования в данном случае состояла в выборе одной из трех моделей, как наиболее подходящей

Результаты моделирования при одновременном работе двух отделов представлены в таблице 6.

КРИТЕРИЙ					
δ/U_0	$U_0 = 0.01$	$U_0 = 0.02$	$U_0 = 0.03$	$U_0 = 0.04$	$U_0 = 0.05$
$\delta=0$	30.05	30.37	30.29	29.77	29.03
$\delta=0.1$	30.06	30.40	30.31	29.80	29.05
$\delta=0.3$	30.09	30.45	30.35	29.83	29.07
$\delta=0.5$	30.11	30.48	30.37	29.85	29.08
$\delta=0.6$	30.11	30.49	30.37	29.84	29.07
$\delta=0.7$	30.12	30.49	30.37	29.84	29.07
$\delta=0.9$	30.13	30.48	30.35	29.81	29.05
$\delta=1$	30.13	30.47	30.34	29.79	29.03

Таблица. 6 Результаты моделирования при одновременном работе двух отделов

При этом в отличие от первых результатов общие доли средств U_0 были равны не одному значению $U_0 = 0.02$, а разным значениям $U_0 = 0.01 \div 0.05$.

На основании этих результатов были вначале получены для разных условий оптимальные значения U_0 , а с их помощью были проведены оценки правильности трех моделей с помощью вычисления трех коэффициентов для трех моделей.

В частности при $U_0 = 0.01$; $U_0 = 0.02$ и $U_0 = 0.03$ получены следующие оценки этих коэффициентов, а по ним средние значения L_{cp} этих коэффициентов и средние отклонения $|\Delta_i|$, которые равны:

$L_{1a}=0.017$	$L_{2a}=0.006$	$L_{3a}=0.008$
$L_{1b}=0.040$	$L_{2b}=0.016$	$L_{3b}=0.024$
$L_{1c}=0.010$	$L_{2c}=0.004$	$L_{3c}=0.003$
$L_{1cp}=0.022$	$L_{2cp}=0.009$	$L_{3cp}=0.012$
$\frac{ \Delta_1 _{cp}}{L_{1cp}}=0.60$	$\frac{ \Delta_2 _{cp}}{L_{2cp}}=0.56$	$\frac{ \Delta_3 _{cp}}{L_{3cp}}=0.70$

Видно, что лучшей является линейная модель по формуле (10) согласно второму столбцу.

Учитывая участие в сбыте продукции как процесса повышения качества, так и процесса спроса, который определяется двумя коэффициентами C_1 и C_2 ($C_1 \ll C_2$), можно получить оценку коэффициента $L_1=M_1-M_2C_2$ и соответствующего управления U_0 в следующем общем виде.

$$U_0=(M_1-M_2C_2) \sum_{i=1}^m \frac{\Delta K_i}{T_i} \quad (12)$$

Эту формулу можно объяснить так. Чем выше скорость C_2 повышения спроса при повышении качества продукции, тем меньше необходимо средств на конструкторские работы (то-есть тем меньше U_0).

В конкретном случае моделирования работы предприятия с одним производственным и двумя отделами конструкторского звена оказалось, что $M_0=0.015$; $M_1=0.01$ при $C_1=0.1$; $C_2=0.45$, а оптимальное значение U_0 зависит от показателей конструкторских работ по формуле

$$U_0=0.01(a+b) \quad (13)$$

в следующих рассмотренных условиях :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum \Delta K_i = 1 ; \quad 1.5 \leq \frac{\Delta K_1}{T_1} \leq 3 ; \quad 0.5 \leq \frac{\Delta K_2}{T_2} \leq 1 \\ 2 \leq \sum_{i=1}^m \frac{\Delta K_i}{T_i} \leq 3 \quad ; \quad 0.4 \leq C_2 \leq 0.8 ; \quad T_2 \leq 3 \text{ лет } T_1 \leq 0.5 T_2 \end{array} \right.$$

4. Сравнительная оценка эффективности работы предприятия имеющего два производственного звена, в случае последовательного перехода этих звеньев на выпуск новой продукции.

В данном разделе рассматриваются следующие подлежащие сравнению варианты работы предприятия:

1. Работает одно производственное звено №1 без использования конструкторских разработок;
2. Работает одно производственное звено №2, постепенно переходящее на выпуск новой продукции, спроектированной одним конструкторским звеном;
3. Работают два производственного звена, из которых только одно звено использует конструкторские разработки и конкуренции между ними нет;
4. Оба производственных звена используют эти разработки, но по разному - сначала перестраивается одно звено, а затем через некоторое время - второе звено, когда темп продаж новой продукции в первом звене начинает превышать темп продаж старой продукции во втором звене из за разницы в спросе. При

этом действует одно конструкторское звено, а детальное поведение отделов внутри конструкторских звеньев уже не рассматривается

Целью моделирования является стремление показать, насколько последний случай выгоднее всех остальных. Эта выгода оценивается с помощью критерия эффективности J , рассчитанного по формуле (5).

Моделирование проводилось последовательно перечисленным случаям, при этом в первом случае работы без конструкторского звена сигнал управления U_1 производственным звеном при выпуске продукции имеет вид, полученный в [1] и показанный на рис. 4

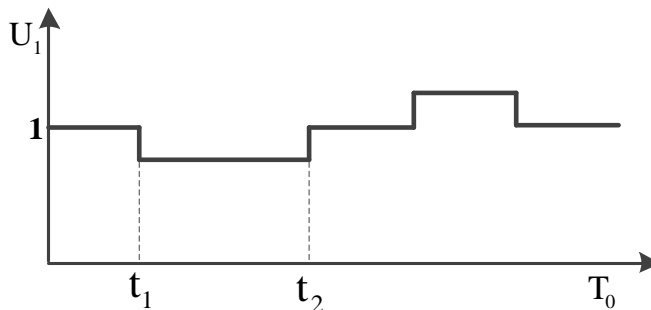


Рис. 4 Сигнал управления одним производственным звеном при $T_0=10$; $t_1=1.5$; $t_2=4.5$ и выпуске продукции одного качества без использования конструкторского звена

При использовании конструкторского звена экспериментально подобранный вариант оптимального управления U_2 имеет другой вид, как показано на рис. 5

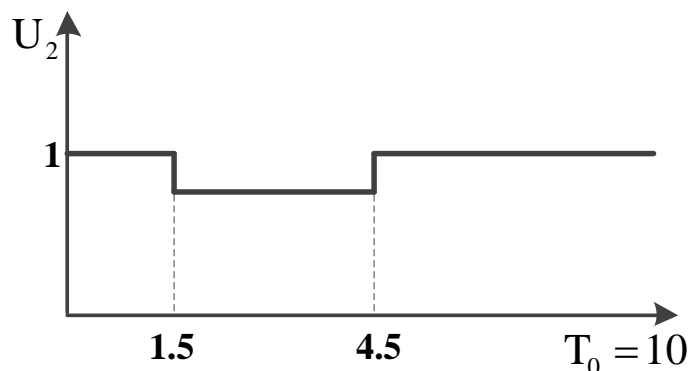


Рис. 5 Сигнал управления одним производственным звеном при участии одного конструкторского звена

Модель изменения качества продукция в конструкторском звене учитывает суммарное улучшение качества ΔK , близкое к единице, а общее время проведения конструкторских разработок $t_2 - t_1$ составляет 3 года. Модель спроса имеет следующие показатели - коэффициент постоянного спроса $C_1 = 0.05$, коэффициент зависимости спроса от скорости улучшения качества $C_2 = 0.45$.

В процессе моделирования получились следующие результаты.

Оказалось, что эффективность работы предприятия по мере увеличения номера варианта растет, что показано в частности на рис. 6 и рис. 7

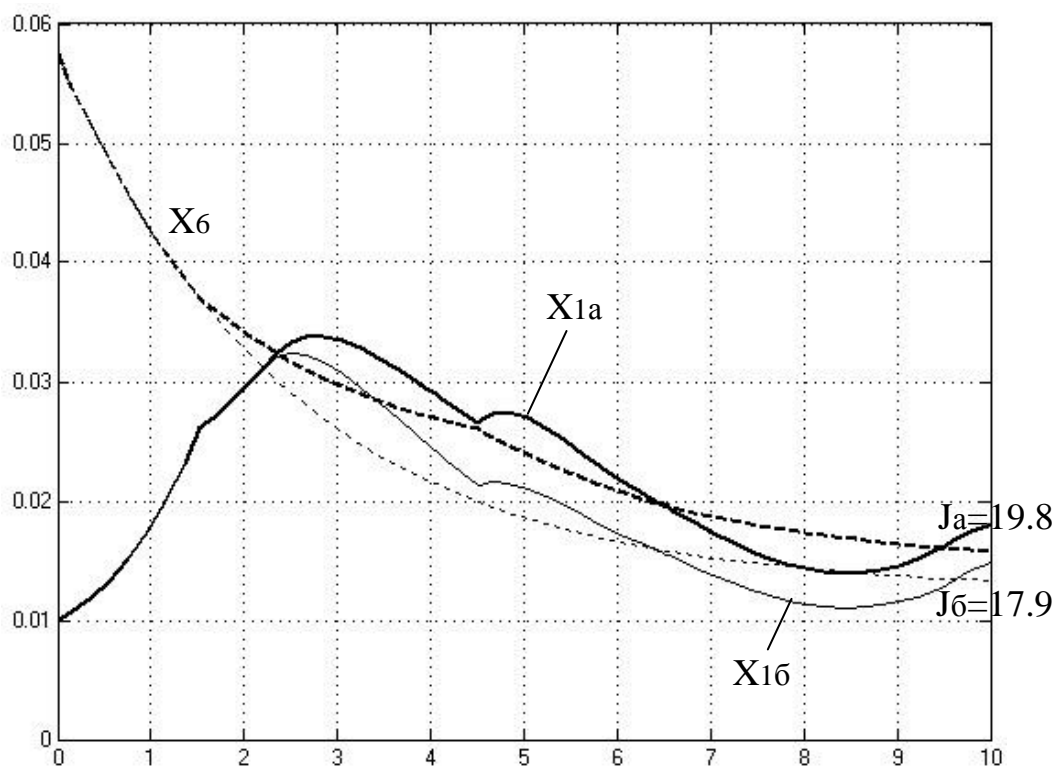


Рис. 6 Показатели эффективности одного производственного звена при $U_0=0.02$ [$X_1(a)$ - мощность производственного звена при выпуске новой продукции, $X_1(b)$ - мощность звена при выпуске старой продукции]

На рис.6 видно, что если предприятие использует конструкторские разработки для одного производственного звена и начинает постепенно выпускать новую продукцию с растущим спросом, то производственная мощность X_1 вырастет на 13% ($X_{1a}(T_0) = 0.018$; $X_{16}(T_0) = 0.015$), а эффективность J -на 10% ($J_a=19.8$; $J_6=17.9$).

Показатели действий двух производственных звеньев показаны на рис. 7

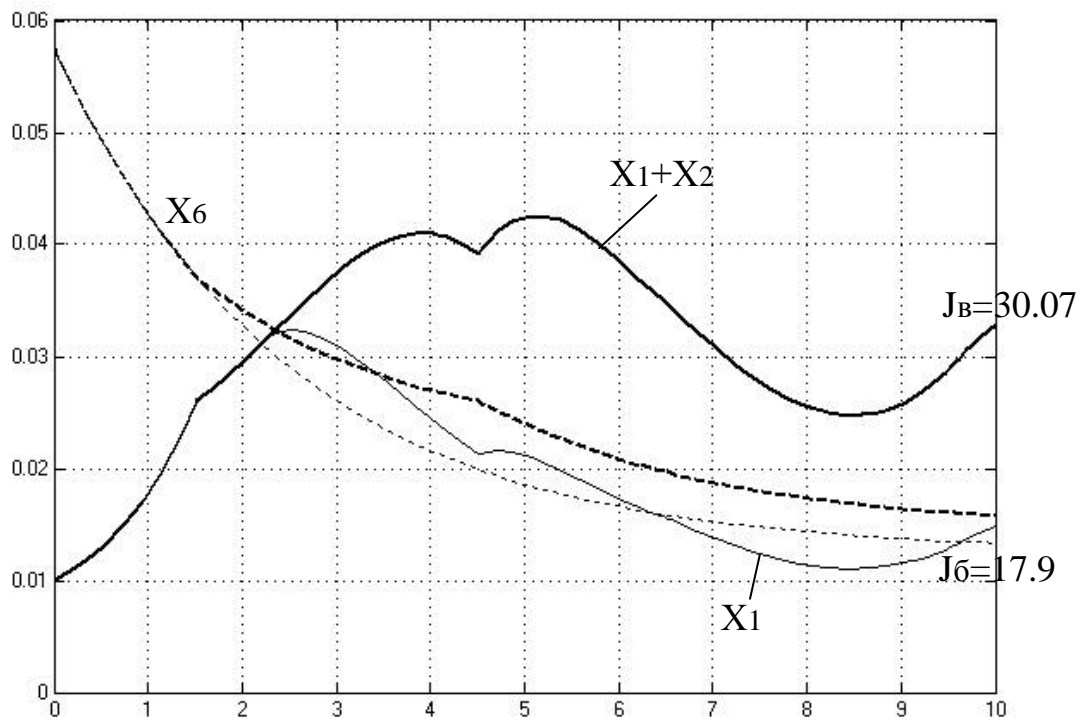


Рис. 7 Показатели эффективности двух производственных звеньев, использующих конструкторские разработки (X_6 - мощность двух производственных звеньев при выпуске новой продукции, X_1 - мощность производственного звена при выпуске старой продукции)

Максимальная эффективность достигается в случае, когда работают два производственных звена, при этом первое звено сразу использует новые разработки, постепенно внедряя в производство новые отдельные компоненты, а второе звено ждет, когда спрос на новую продукцию и темп её продаж в первом звене станет выше, чем темп продаж своей старой продукции. После этого второе звено выпускает ту же продукцию, что первое. Оказалось, что эффективность возрастает на 100% ($J_в=30,07$; $J_6=17,9$). При этом второе звено начинает выпускать новую продукцию не сразу, а через 5 лет, когда спрос старой продукции уже неизбежно падает, а спрос на новую продукции растет.

Таким образом, осуществляя постепенное степенное повышение качества продукции, удастся обеспечить неизменный растущий спрос, а значит неизменный растущий темп продаж этой продукции, что гарантирует устойчивое сохранение производства, в том числе кризисных ситуациях.

Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Анализ совершенствования авиационной техники показал, что скорость повышения качества отдельных её компонент неодинакова, и наибольший рост некоторых из них достигается за малое время, а длительное улучшение других обеспечивается при малой скорости;

2. Для распределения средств между конструкторскими звеньями получена линейная модель (6), согласно которой доля этих средств пропорциональна ожидаемой скорости повышения качества в каждом звене;

3. Для определения доли средств, отводимых в целом на конструкторские разработки, найдена формула (12), учитывающая ожидаемую суммарную скорость повышения качества авиационной техники и повышение скорости её спроса;

4. При анализе деятельности двух производственных звеньев предприятия установлено, что максимальная эффективность достигается в условиях конкуренции, когда сначала первое звено постепенно внедряет отдельные новые компоненты, а второе звено полностью переходит на новую продукцию после того, как темп её продаж станет выше старой.

Библиографический список

1. Лебедев Г.Н., Аунг Мьё Тху, Пашкевич А.Г. Динамические модели производственного и технологического звена в задаче оптимального управления предприятием в кризисных ситуациях. М., Изд. “Системы управления и информационные технологии”, 2011, №3. С. 36-40.
2. Лебедев Г.Н., Дао Нгок Тхай. Задача оптимального управления производством в кризисных ситуациях с учетом совершенствования создаваемой новой авиационной техники. Электронный журнал «Труды МАИ», 2013, № 63, <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=36125>.
3. Лебедев Г.Н., Дао НгокТхай. Синтез оптимального управления конструкторским звеном предприятия при создании новой авиационной техники в кризисных ситуациях. М., Изд. “Авиакосмическое приборостроение”, 2013, №10. С. 22-30.
4. Алёшин Б. С., Веремеенко К. К., Ориентация и навигация подвижных объектов. М., Физматлит, 2006 г., 422стр.
5. Гуревич О. С. Системы автоматического управления авиационными ГТД. М. Изд. “ ТОРУС ПРЕСС”, 2011 г., 207 стр.
6. <http://omop.su/poisk/Boeing%20377%20Stratocruiser/2>
7. http://ru.wikipedia.org/wiki/Rolls-Royce_RB211