ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫБОРА КОНКУРЕНТНЫХ СТРАТЕГИЙ НА РЫНКЕ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Д.Г. Гришанов,
доцент кафедры математических методов в экономике
Самарского государственного аэрокосмического университета,
кандидат экономических наук
Grishanov@mail.ru

С.А. Кирилина,
начальник финансового управления ФГУП ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» (г. Самара),
докторант Самарского государственного аэрокосмического университета,
кандидат экономических наук,
Skirilina@mail.ru

Д.А. Щелоков,
ассистент кафедры экономики Самарского
государственного аэрокосмического университета,
кандидат экономических наук
Dima-shhelokov@yandex.ru

В статье исследуются возможности формирования оптимальных конкурентных стратегий производителей на рынке ракетно-космической техники. Использование средств математического моделирования применительно к анализу рынка дуопольной конкуренции позволило выявить условия, при которых достижение максимизации прибыли согласуется с ситуацией конкурентного равновесия, исключающего деградацию данного рынка.

Ключевые слова: *ценовая конкуренция, дуополия, математическая модель, задача принятия решений.*

УДК 338.45.01; ББК 65.011

Отличительной чертой дуопольной конкуренции, как наиболее характерной модели рынка ракетно-космической техники, является предельно широкий диапазон равновесных цен – от монопольной до классически конкурентной. Данное обстоятельство в сочетании с весьма ограниченным числом продавцов и их взаимных реакций открывает широкие возможности использования экономико-математических методов выбора оптимальных конкурентных стратегий.

Общую постановку задачи дуополии с выбором цены можно сформулировать следующим образом. На рынке ракетно-космической техники участвуют два выпускающих неоднородных изделия предприятия, которым известны функции спроса $y_1(Ц)$ и $y_2(Ц)$ на выпускаемое каждым предприятием изделие. Через равные промежутки бюджетного периода предприятия планируют изменение цен $Ц_1$ и $Ц_2$ продаж своего изделия, полностью реализуемого на рынке ракетно-космической техники. Прибыль каждого предприятия есть произведение цены на объем продаж (выпуска) минус затраты

$$ВП(y) = Ц_i \cdot y_i - \left(\begin{array}{c} \sum\limits_{l \in L} m_l^y \cdot Ц_l + \\ + \sum\limits_{k \in K} r_k^y \cdot Ц_k + \sum\limits_{s \in S} t_s^y \cdot Ц_s \end{array} \right) \cdot \qquad (1)$$

$$\cdot y_i - З_{пос} \to max,$$

$$y \le A_l, l \in L, y \le B_k, k \in K, y \le D_s, s \in S, y \ge C_n,$$

где m_l^y – норма расхода $l-го$ вида материала на одно изделие; r_k^y – норма затрат времени на эксплуатацию оборудования (агрегатов, станков) k-й группы на одно изделие; t_s^y – норма затрат времени трудовых ресурсов s-го вида на одно изделие; $Ц_l$, $Ц_k$, $Ц_s$ – цена единицы используемых ресурсов соответственно; y_i – количество изделий выпускаемых $i-м$ предприятием; A_l, B_k, D_s – количество изделий, которые можно выпустить из имеющихся материалов $i-го$ вида, фонда времени $k-го$ вида оборудования и рабочих $s-й$ профессии соответственно; C_n - нижние границы количества изделий, соответствующие точкам безубыточности; $Ц_i$ – цена изделия; $З_{пос}$ – накладные расходы.

Производственные возможности (мощности) предприятий ограничены, и представлены неравенствами модели (1). Естественными ограничениями являются требования неотрицательности объемов выпуска $(y_1 \ge 0, y_2 \ge 0)$, а также цен $(Ц_1 \ge 0, Ц_2 \ge 0)$.

Допущение упрощающего условия независимой максимизации прибыли каждого предприятия обеспечивает возможность поиска оптимальных значений цен $Ц_1^0$ и $Ц_2^0$.

В модели неоднотипной ценовой дуополии управляемыми параметрами являются цены продаж каждой фирмы, выбираемые менеджерами на основе тех или иных стратегий.

Каждая фирма, управляя ценой на выпускаемое изделие, стремится максимизировать свою прибыль, исходя из необходимых условий существования максимума:

$$\frac{\partial ВП_i(Ц)}{\partial Ц_i} = 0, i = 1,2 \qquad (2)$$

На функции спроса $y_i(Ц), i = 1,2$ наложим следующие требования:

для любых значений $Ц_1$ и $Ц_2$ функция спроса $y_i(Ц), i = 1,2$ убывает по $Ц_i, i = 1,2$ и возрастает по $Ц_j, j = 1,2, i \ne j$, то есть $\frac{\partial y_i}{\partial Ц_i} < 0$; $\frac{\partial y_i}{\partial Ц_j} > 0$; $i, j = 1,2, i \ne j$. В соответствии с введенным предположением, чем выше цена предприятия, тем меньше спрос на его продукцию и, чем выше цена конкурента, тем этот спрос выше.

Простейшей моделью функций спроса неоднотипной (дифференцированной) дуополии являются линейные модели, которые определяются следующими уравнениями:

$$y_i(Ц) = y_0 - a_i Ц_i + b_i Ц_j, i, j = 1,2, i \ne j, \qquad (3)$$

где y_0 – емкость рынка ракетно-космической техники, $a_i > 0, b_i > 0, i = 1,2$, – коэффициенты чувствительности функции спроса к изменению цен $Ц_1$, $Ц_2$.

Каждое из уравнений (3) удовлетворяет наложенным требованиям на функцию спроса:

$$\frac{\partial y_i}{\partial Ц_i} = -a_i < 0, \frac{\partial y_i}{\partial Ц_i} = b_i > 0, i,j = 1,2, i \neq j.$$

Функции затрат обоих предприятий определяются из уравнений:

$$C_i(y_i) = \left(\begin{array}{c} \sum_{l \in L} m_l^y \cdot Ц_l + \\ + \sum_{k \in K} r_k^y \cdot Ц_k + \sum_{s \in S} t_s^y \cdot Ц_s + \frac{З_{пос}}{y_i(Ц)} \end{array} \right) \cdot y_i(Ц) = c_i y_i(Ц), \quad (4)$$

где

$$c_i = \sum_{l \in L} m_l^y \cdot Ц_l + \sum_{k \in K} r_k^y \cdot Ц_k + \sum_{s \in S} t_s^y \cdot Ц_s + \frac{З_{пос}}{y_i(Ц)}$$

– предельные затраты на одно изделие.

Получение оптимального статического решения задачи неоднотипной дуополии с выбором цены сводится к вычислению частных производных системы (2) и последующему решению этой системы относительно цен изделия предприятий.

Так, прибыль $i - го$ предприятия равна

$$ВП_i(Ц) = (Ц_i - c_i) y_i(Ц) = (Ц_i - c_i) \cdot \cdot (y_0 - a_i Ц_i + b_i Ц_j), i,j = 1,2, i \neq j, \quad (5)$$

Необходимые условия существования максимума в соответствии с (2) определяются из равенства

$$\frac{\partial ВП_i(Ц)}{\partial Ц_i} = y_0 - a_i Ц_i + b_i Ц_j - (Ц_i - c_i) a_i = = y_0 - 2a_i Ц_i + b_i Ц_j + a_i c_i = 0, i,j = 1,2, i \neq j \quad (6)$$

Из формулы (4) можно получить зависимость для оптимальной цены изделия каждого предприятия:

$$Ц_i(Ц_j) = \frac{1}{2a_i}(y_0 + a_i c_i + b_i Ц_j), i,j = 1,2, i \neq j. \quad (7)$$

Уравнение (7) представляет собой функцию реакции i-ого предприятия на цену конкурента. Каждое предприятие считает цену на изделие, устанавливаемую конкурентом в новом периоде, равной цене предыдущего периода, а затем принимает решение по назначению цены, максимизирующей собственную прибыль, то есть выбор предприятием цены (в данный момент времени) не зависит от изменения цены у конкурента (предположительные вариации цен равны нулю):

$$\beta_{12} = \frac{\partial Ц_1}{\partial Ц_2} = 0 \qquad \beta_{21} = \frac{\partial Ц_2}{\partial Ц_1} = 0$$

Из уравнения (7) следует, что оптимальная цена каждого предприятия не может быть меньше следующего значения:

$$Ц_i^0 \geq \frac{y_0 + a_i c_i}{2a_i}. \quad (8)$$

Решая систему (8) находим, что в точке равновесия пара ($Ц_1^0$ и $Ц_2^0$) уровней цен на изделия, полученная при нулевых предположительных вариациях $(\beta_{ij} = 0, i,j = 1,2, i \neq j)$, определяется из формул:

$$Ц_1^0 = \frac{(y_0 + a_1 c_1)2a_2 + b_1(y_0 + a_2 c_2)}{4a_1 a_2 - b_1 b_2}, \quad (9)$$

$$Ц_2^0 = \frac{(y_0 + a_2 c_2)2a_1 + b_2(y_0 + a_1 c_1)}{4a_1 a_2 - b_1 b_2}. \quad (10)$$

Подставляя полученное уравнение для равновесных цен $Ц_1^0$ и $Ц_2^0$ в уравнение для функции спроса (3), находим равновесные по Нэшу стратегии предприятий по выбору объемов выпуска изделий:

$$y_1^0 = \frac{a_1[2a_2 + b_1]y_0 - (2a_1 a_2 - b_1 b_2)c_1 + b_1 a_2 c_2}{4a_1 a_2 - b_1 b_2}, \quad (11)$$

$$y_2^0 = \frac{a_2[2a_1 + b_2]y_0 - (2a_1 a_2 - b_1 b_2)c_2 + b_2 a_1 c_1}{4a_1 a_2 - b_1 b_2}. \quad (12)$$

Из (11) и (12) следует, что равновесный объем реализации изделий для каждого участника рынка ракетно-космической техники существует, если выполняется следующее система неравенств для каждого предприятия

$$a_2[2a_1 + b_2]y_0 + b_1 a_2 c_2 > (2a_1 a_2 - b_1 b_2)c_1, a_1 > b_1, a_2 > b_2 \quad (13)$$

$$a_1[2a_2 + b_1]y_0 + b_2 a_1 c_1 > (2a_1 a_2 - b_1 b_2)c_1. \quad (14)$$

Из полученных неравенств следует, что при заданных значениях удельных затрат c_1 и c_2 и известных значениях параметров функции спроса a_1, a_2, b_1, b_2 точка равновесия Нэша существует, если объем рынка ракетно-космической техники y_0 и соотношение между коэффициентами функций спроса одновременно удовлетворяют следующим неравенствам:

$$y_0 \geq \max_{i=1,2} \frac{1}{a_j(2a_i + b_j)}[(2a_i a_j - b_i b_j)c_i - b_i a_j c_j], \quad a_i > b_i, i,j = 1,2, i \neq j. \quad (15)$$

Экономический смысл системы неравенств (15) заключается в том, что для устойчивости конкурентного рынка ракетно-космической техники и, следовательно, для существования точки равновесия необходимо, чтобы соотношения между рыночными параметрами системы сбыта изделий y_0, a_1, a_2, b_1, b_2 обеспечивали выполнение неравенств (15).

Точка равновесия существует, если равновесные цены, определяемые в соответствии с (9) и (10), позволяют получить положительную прибыль при реализации изделия предприятия, то есть если разница между равновесной ценой и предельными затратами положительна для каждого предприятия:

$$(Ц_1 - c_i) > 0, (Ц_2 - c_2) > 0. \quad (16)$$

В этом случае точка равновесия существует и реализация ее обеспечивает рентабельность производства изделий.

С учетом (9) и (10) неравенство (16) представим в виде:

$$Ц_1 - c_1 = \frac{(y_0 - a_1 c_1)2a_2 + b_1(y_0 + b_1 c_1 + a_2 c_2)}{4a_1 a_2 - b_1 b_2} > 0 \quad (17)$$

$$Ц_2 - c_2 = \frac{(y_0 - a_2 c_2)2a_1 + b_2(y_0 + b_2 c_2 + a_1 c_1)}{4a_1 a_2 - b_1 b_2} > 0 \quad (18)$$

Неравенства (17) и (18) представляют собой такие условия существования точки равновесия, выполнение которых не ведет к монополизации рынка ракетно-космической техники в условиях конкуренции.

Учитывая, что емкость рынка ракетно-космической техники y_0 для каждого предприятия постоянна, т.е. $y_0 = const$, тогда неравенства (17) и (18) можно записать в виде:

$$Ц_1 - c_1 = \frac{(2a_2 + b_1)y_0 - c_1(2a_1 a_2 - b_1 b_2) + b_1 a_2 c_2}{4a_1 a_2 - b_1 b_2} > 0 \quad (19)$$

$$Ц_2 - c_2 = \frac{(2a_1 + b_2)y_0 - c_2(2a_1 a_2 - b_1 b_2) + b_2 a_1 c_1}{4a_1 a_2 - b_1 b_2} > 0 \quad (20)$$

Прибыль на единицу изделия положительна для каждого предприятия, если и числитель, и знаменатель неравенств (17) и (18) – положительные величины, то есть если одновременно выполняются следующие неравенства:

$$y_0 > \max_{i=1,2} \left[\frac{c_i(2a_i a_j - b_i b_j) - b_i a_j c_j}{2a_j + b_i}, i \neq j \right] \quad (21)$$

$$a_1 > b_1, a_2 > b_2 \quad (22)$$

Из полученных неравенств (21) и (22) следует, что если $a_i > b_i, i,j = 1,2, i \neq j$, то это, с практической точки зрения, является естественным и всегда выполняется. Выполнение неравенства (21) относительно емкости рынка ракетно-космической техники позволяет обеспечить рентабельность выпуска изделия для каждого предприятия. При невыполнении неравенства предприятия могут оказаться в различных ситуациях. Так если:

$$y_0 > \min_{i=1,2}\left[\frac{c_i(2a_i a_j - b_i b_j) - b_i a_j c_j}{2a_j + b_i}, i \neq j\right], \quad (23)$$

то производство изделия в объеме x_0 становиться нерентабельным для предприятий и прекращает свое существование. Если:

$$\min_{i=1,2}\left[\frac{c_i(2a_i a_j - b_i b_j) - b_i a_j c_j}{2a_j + b_i}, i \neq j\right] < y_0 < \\ < \max_{i=1,2}\left[\frac{c_i(2a_i a_j - b_i b_j) - b_i a_j c_j}{2a_j + b_i}, i \neq j\right], \quad (24)$$

то рынок монополизируется: поскольку одному из предприятий производство изделия становиться невыгодными, оно уходит с рынка ракетно-космической техники.

В связи с этим строгое выполнение неравенства (21) обеспечивает рентабельность производства для каждого предприятия и сохранение конкурентной среды.

Уравнения (11) и (12) при выполнении неравенств (21) и (22) характеризуют позицию, занимаемую каждым предприятием на рынке ракетно-космической техники по объему выпускаемых изделий. При постоянных параметрах функции спроса занимаемая позиция может изменяться в зависимости от затрат c_1, c_2 при производстве изделия и их соотношения между собой. Так, из уравнения (11) следует, что с уменьшением затрат c_1 объем выпуска изделий первого предприятия увеличивается, и уменьшается – с уменьшением затрат второго предприятия c_2. Обратная ситуация возникает при анализе уравнения (12), характеризующего позицию на рынке второго предприятия. Определим влияние изменения затрат при производстве изделий первым предприятий на величину его объема продаж. Для этого продифференцируем уравнение (11) по величине затрат c_1. В результате получим, что:

$$\frac{\partial y_1^0}{\partial c_1} = \frac{-(2a_1 a_2 - b_1 b_2)}{4a_1 a_2 - b_1 b_2} = -d, \quad (25)$$

где d – коэффициент чувствительности объема продаж к изменению себестоимости изделия $(0 < d < 1)$.

Уравнение (25) характеризует чувствительность объема продаж в точке равновесия. Из этого уравнения следует, что с уменьшением затрат на производство изделий первым предприятием объем его продаж увеличивается. При известной величине коэффициента чувствительности и заданной величине снижения затрат $(-\Delta c_1)$, объем продаж увеличится на величину:

$$\Delta y_1 = \frac{\partial y_1}{\partial c_1} = d \cdot \Delta c_1, \quad (26)$$

Определим величину изменения объема продаж ракетно-космической техники от изменения затрат при снижении норм расхода на материалы, оборудования и трудовые ресурсы. Рассмотрим задачу реализации инвестиционных проектов, направленных на снижение норм затрат, решение которой позволяет снизить расходы и увеличить на этой основе экономический потенциал предприятия от продажи изделий при заданном заказе. Эффект, получаемый от снижения затрат на нормы расхода материальных ресурсов $\Delta c_1(z_m)$, затрат времени на эксплуатацию оборудования $\Delta c_1(z_r)$ и затрат на трудовые ресурсы $\Delta c_1(z_s)$ составят величины равные:

$$\Delta c_1(z_m) = \sum_{l \in L} \Delta m_l(z_l) \cdot Ц_l - \frac{1}{y}\sum_{l \in L} z_l \\ \Delta c_1(z_r) = \sum_{k \in K} \Delta r_k(z_k) \cdot Ц_k - \frac{1}{y}\sum_{k \in K} z_k \quad (27) \\ \Delta c_1(z_s) = \sum_{s \in S} \Delta t_s(z_s) \cdot Ц_s - \frac{1}{y}\sum_{s \in S} z_s,$$

где

$\Delta m_l(z_l) = \sum_{j \in J} \Delta m_{ij}(z_i) \cdot \lambda_j$,
$\Delta r_k(z_k) = \sum_{j \in J} \Delta r_{kj}(z_k) \cdot \lambda_j$,
$\Delta t_s(z_s) = \sum_{j \in J} \Delta t_{sj}(z_s) \cdot \lambda_j$ – снижение норм расхода на материалы, оборудование и трудовые ресурсы на одно изделие, соответственно, при инвестициях в объемах z_l, z_k, z_s.

Суммарный эффект, получаемый первым предприятием от снижения норм расхода ресурсов, составляет величину:

$$\Delta c_1(z_н) = \Delta c_1(z_m) + \Delta c_1(z_r) + \Delta c_1(z_s). \quad (28)$$

Таким образом, инвестиции в снижение затрат на нормы расхода ресурсов в сумме $z_н$, с учетом уравнения (26) обеспечивают увеличение объема продаж ракетно-космической техники на величину $\Delta y_1(z_н)$ определяемой из соотношения:

$$\Delta y_1(z_н) = d \cdot \Delta c_1(z_н) = \\ = d \cdot (\Delta c_1(z_m) + \Delta c_1(z_r) + \Delta c_1(z_s)). \quad (29)$$

Увеличение объема продаж в соответствии с (29) позволяет повысить конкурентный потенциал первого предприятия и получить дополнительную прибыль от реализации инвестиционных проектов, направленных на снижения норм расхода материальных ресурсов.

Увеличение конкурентного потенциала первого предприятия изменит ситуацию на рынке: первое предприятие увеличит свою конкурентоспособность за счет вытеснения с рынка второго, а рыночная ситуация для второго предприятия усложнится, поскольку в новой точке равновесия спрос на его продукцию уменьшится. С учетом сказанного, новая точка равновесия для дуополии при реализации инвестиционных проектов, характеризуется следующими объемами продаж для предприятий:

$$y_1^*(z_н) = y_1^0 + \Delta y_1(z_н), \\ y_2^*(z_н) = y_2^0 - \Delta y_1(z_н), \quad (30)$$

где y_1^0 и y_2^0 определяются в соответствии с (11) и (12) и представляют собой равновесные по Нэшу стратегии предприятий по выбору объемов выпуска изделий до реализации инвестиционных проектов первым предприятием.

Отметим, что второе предприятие может улучшить свою позицию на рынке, реализуя комплекс своих инвестиционных проектов, направленных на снижение норм затрат ресурсов.

Рассмотрим поведение предприятий в условиях ценовой конкуренции с учетом надежности изделий. Предположим, что на рынке ракетно-космической техники участвуют два, выпускающих неоднородных изделия предприятия, которым известны функции спроса $y_1(Ц, \omega)$ и $y_2(Ц, \omega)$ на выпускаемое каждым предприятием изделие. Через равные промежутки бюджетного периода предприятия планируют изменение цен $Ц_1$ и $Ц_2$ продаж своего изделия и его надежности ω_1 и ω_2. Прибыль каждого предприятия есть произведение цены на объем продаж (выпуска) минус затраты

$$BП_i(\omega, Ц) = (Ц_i - c_i(\omega_i y_i))y_i(\omega, Ц), i, j = 1,2, i \neq j, \quad (31)$$

Естественными ограничениями являются требования неотрицательности объемов выпуска $(y_1 \geq 0, y_2 \geq 0)$, а также цен $(Ц_1 \geq 0, Ц_2 \geq 0)$.

Требуется найти оптимальные значения цен $Ц_1^0$ и $Ц_2^0$ и надежности ω_1 и ω_2 из условия независимой максимизации прибыли каждого предприятия.

В модели неоднотипной дуополии управляемыми параметрами являются цены продаж каждой фирмы и уровень надежности изделия, выбираемые менеджерами на основе тех или иных стратегий.

Каждая фирма, управляя ценой и уровнем надежности на выпускаемое изделие, стремится максимизировать свою прибыль, исходя из необходимых условий существования максимума

$$\frac{\partial BП_i(\omega, Ц)}{\partial Ц_i} = 0, \frac{\partial BП_i(\omega, Ц)}{\partial \omega_i} = 0, i = 1,2 \quad (32)$$

На функции спроса $y_i(\omega, Ц), i = 1{,}2$ наложим следующие требования:

для любых значений $Ц_1$ и $Ц_2$ функция спроса $y_i(\omega, Ц), i = 1{,}2$ убывает по $Ц_i, i = 1{,}2$ и возрастает по $Ц_j, j = 1{,}2, i \neq j$, то есть $\frac{\partial y_i}{\partial Ц_i} < 0$; $\frac{\partial y_i}{\partial Ц_j} > 0$; $i, j = 1{,}2, i \neq j$; для любых значений ω_1 и ω_2 функция спроса $y_i(\omega, Ц), i = 1{,}2$ возрастает по $\omega_i, i = 1{,}2$ и убывает по $\omega_j, j = 1{,}2, i \neq j$, то есть $\frac{\partial y_i}{\partial \omega_i} > 0$; $\frac{\partial y_i}{\partial \omega_j} < 0$; $i, j = 1{,}2, i \neq j$. В соответствии с введенным предположением, чем выше цена предприятия, тем меньше спрос на его продукцию и, чем выше цена конкурента, тем этот спрос выше и чем выше уровень надежности, тем больше спрос на его продукцию и, чем ниже уровень надежности конкурента, тем выше спрос на его продукцию.

Пусть моделью функций спроса неоднотипной (дифференцированной) дуополии является линейные модели, которые определяются следующими уравнениями:

$$y_i(\omega, Ц) = y_0 + a_i^{\omega}\omega_i - b_i^{\omega}\omega_j - a_i^{ц}Ц_i + b_i^{ц}Ц_j, i, j = 1{,}2, i \neq j, \tag{33}$$

где y_0 – емкость рынка ракетно-космической техники, $a_i^{ц}, b_i^{ц}, a_i^{\omega}, b_i^{\omega} > 0$, $i = 1{,}2$, – коэффициенты чувствительности функции спроса к изменению цен $Ц_1$, $Ц_2$ и уровня надежности ω_1, ω_2.

Практика использования ракетно-космической техники такова, что на соотношение между коэффициентами функции спроса накладываются следующие ограничения:

$$a_i^{\omega} > b_i^{\omega}, a_i^{\omega} > a_i^{ц}, a_i^{ц} > b_i^{ц}, b_i^{\omega} > b_i^{ц}$$

Каждое из уравнений (33) удовлетворяет наложенным требованиям к функции спроса:

$$\frac{\partial y_i}{\partial Ц_i} = -a_i^{ц} < 0, \frac{\partial y_i}{\partial Ц_i} = b_i^{ц} > 0,$$

$$\frac{\partial y_i}{\partial \omega_i} = a_i^{\omega} > 0, \frac{\partial y_i}{\partial \omega_i} = -b_i^{\omega} < 0, i, j = 1{,}2, i \neq j.$$

Получение оптимального статического решения задачи неоднотипной дуополии с выбором цены и уровня надежности сводится к вычислению частных производных системы (32) и последующему решению этой системы относительно цен и уровня надежности изделия предприятий.

Пусть удельная себестоимость изготовления изделия для каждого предприятия определяются в соответствии с уравнениями:

$$c_i(\omega_i y_i) = c_i^{y} y_i(\omega, Ц) + c_i^{\omega}\omega_i, i, j = 1{,}2, \tag{34}$$

где c_i^{y} и c_i^{ω} – удельные затраты.

Предположим также, что цена изделия и его уровень надежности связаны следующей функциональной зависимостью:

$$Ц_i(\omega_i) = Ц_{i0} + \gamma \cdot \omega_i, i = 1{,}2, \tag{35}$$

где $\gamma > 0$ – скорость увеличения цены.

С учетом (4) и (5) представим уравнение для прибыли в следующем виде:

$$ВП_i(\omega) = (Ц_{i0} + \gamma \cdot \omega_i - c_i^{y})[y_0 + a_i^{\omega}\omega_i - b_i^{\omega}\omega_j - a_i^{ц}(Ц_{i0} + \gamma \cdot \omega_i) + b_i^{ц}(Ц_{i0} + \gamma \cdot \omega_i)], \tag{36}$$
$$i, j = 1, 2, i \neq j$$

Сгруппируем составляющие уравнения (6), в результате получим:

$$ВП_i(\omega) = (Ц_{i0} + \gamma \cdot \omega_i - c_i^{y})[y_0 + a_i^{ц}Ц_{i0} + b_i^{ц}Ц_{j0} + (a_i^{\omega} - \gamma a_i^{ц})\omega_i - (b_i^{\omega} - \gamma b_i^{ц})\omega_j] - c_i^{\omega}\omega_i, i, j = 1{,}2, i \neq j. \tag{37}$$

Необходимые условия существования максимума в соответствии с (32) определяются из равенства

$$\frac{\partial ВП_i(\omega)}{\partial \omega_i} = \gamma\left(y_0 + a_i^{\omega}\omega_i - b_i^{\omega}\omega_j - a_i^{ц}(Ц_{i0} + \gamma \cdot \omega_i) + b_i^{ц}(Ц_{i0} + \gamma \cdot \omega_i)\right) - c_i^{\omega} + (Ц_{i0} + \gamma \cdot \omega_i - c_i^{y})(a_i^{\omega} - \gamma a_i^{ц}) = 0 \tag{38}$$
$$i, j = 1, 2, i \neq j.$$

Группируя составляющие уравнения (38) получим:

$$\frac{\partial ВП_i(\omega)}{\partial \omega_i} = 2\gamma(a_i^{\omega} - \gamma a_i^{ц})\omega_i + [\gamma(y_0 - a_i^{ц}Ц_{i0} + b_i^{ц}Ц_{j0}) + (Ц_{i0} - c_i^{y}) \cdot (a_i^{\omega} - \gamma a_i^{ц}) - c_i^{\omega} - \gamma(b_i^{\omega} - \gamma b_i^{ц})]\omega_j = 0 \; i, j = 1{,}2, i \neq j. \tag{39}$$

Из уравнения (39) следует, что уровень надежности изделия для каждого предприятия в условиях конкуренции, определяется из системы уравнений:

$$\omega_i = \frac{1}{2\gamma(\gamma a_i^{ц} - a_i^{\omega})}[\gamma(y_0 - a_i^{ц}Ц_{i0} + b_i^{ц}Ц_{j0}) + (Ц_{i0} - c_i^{y})(a_i^{\omega} - \gamma a_i^{ц}) - c_i^{\omega}] - \frac{(b_i^{\omega} - \gamma b_i^{ц})}{2(\gamma a_i^{ц} - a_i^{\omega})}\omega_j, i, j = 1{,}2, i \neq j. \tag{40}$$

Обозначим первую составляющую уравнения (40), через $A_i(y_0, Ц_0, a_i, b_i, c_i, \gamma)$, т.е.:

$$A_i(y_0, Ц_0, a_i, b_i, c_i, \gamma) = \frac{1}{2\gamma(\gamma a_i^{ц} - a_i^{\omega})} \cdot \begin{bmatrix} \gamma(y_0 - a_i^{ц}Ц_{i0} + b_i^{ц}Ц_{j0}) + \\ +(Ц_{i0} - c_i^{y})(a_i^{\omega} - \gamma a_i^{ц}) - c_i^{\omega} \end{bmatrix}, \tag{41}$$
$$i, j = 1, 2, i \neq j.$$

а коэффициент при уровне надежности ω_j, через $B_i(a_i, b_i, \gamma)$, т.е.:

$$B_i(a_i, b_i, \gamma) = \frac{(b_i^{\omega} - \gamma b_i^{ц})}{2(\gamma a_i^{ц} - a_i^{\omega})}, i, j = 1{,}2, i \neq j. \tag{42}$$

С учетом введенных обозначений, систему уравнений (41) запишем в следующем виде:

$$\omega_i^0 = A_i(y_0, Ц_0, a_i, b_i, c_i, \gamma) - B_i(a_i, b_i, \gamma)\omega_j^0, i, j = 1{,}2, i \neq j,$$

или

$$\omega_1^0 = A_1 - B_1\omega_2^0,$$
$$\omega_2^0 = A_2 - B_2\omega_1^0. \tag{43}$$

Решая систему (43) получим, что равновесные значения уровней надежности изделия первого и второго предприятия составят величину:

$$\omega_1^* = \frac{A_1 - B_1 A_2}{1 - B_1 B_2}, \; \omega_2^* = \frac{A_2 - B_2 A_1}{1 - B_1 B_2}. \tag{44}$$

Точка равновесия существует, если одновременно выполняются следующие неравенства

$$\left(A_1 > max\left(\frac{A_2}{B_2}, B_1A_2\right)\right) \wedge \left(A_2 > max\left(\frac{A_1}{B_1}, B_2A_1\right)\right) \wedge (B_1 < 1) \wedge (B_2 < 1) \quad (45)$$

Из взаимосвязанной системы неравенств (45) определяются начальные и предельные затраты, обеспечивающие существования решения системы (43).

При выполнении этих неравенств рынок сбыта не становится монопольным и единственным положением в точке равновесия, координаты которой удовлетворяют приведенной системе линейных уравнений (44). При этом равновесие динамически устойчиво в том смысле, что из любого начального состояния рынок с течением времени переходит в равновесное состояние. Иными словами, если выполняется (45) то, несмотря на существование конкурентных отношений, обеспечиваются условия, необходимые для нормального функционирования обоих участников на рынке ракетно-космической техники.

Снижение уровня надежности одного из изделий приведет к выполнению требований взаимосвязанных неравенств (45). Это означает, что выпуск этого изделия, как не конкурентоспособного, предприятием прекращается и в этой связи встает задача или его модернизации, или разработки и выпуска нового изделия. Из сказанного следует, что конкуренция на рынке ракетно-космической техники между предприятиями по их изготовлению, является положительным фактором, поскольку стимулирует развитие ракетно-комической техники.

При определенных равновесных значениях уровня надежности изделий ω_1^*, ω_2^* легко определить равновесные значения цен, объемов выпуска каждого изделия и равновесную величину прибыли, получаемую каждым предприятием.

$$\begin{gathered} Ц_i^* = Ц_{i0} + \gamma\omega_i^*, i, j = 1,2. \\ y_i^*(\omega, Ц) = y_0 + a_i^\omega \omega_i^* - b_i^\omega \omega_j^* - \\ - a_i^Ц Ц_i^* + b_i^Ц Ц_j^*, i, j = 1,2 \\ ВП_i^*(\omega) = \left(Ц_{i0} + \gamma \cdot \omega_i^* - c_i^y\right)\left[y_0 + a_i^Ц Ц_{i0} + \right. \\ \left. + b_i^Ц Ц_{j0} + \left(a_i^\omega - \gamma a_i^Ц\right)\omega_i^* - \left(b_i^\omega - \gamma b_i^Ц\right)\omega_j^*\right] \\ - c_i^\omega \omega_i, i, j = 1,2 \end{gathered} \quad (46)$$

В работе предложена статическая модель конкурентного взаимодействия на рынке сбыта изделий ракетно-космической техники с учетом их надежности. Рынок сбыта рассматривается как система, состоящая из предприятий, экономические интересы которых, количественно определяемые величиной прибыли, связаны между собой.

С практической точки зрения рыночная ситуация является предпочтительной, поскольку препятствует монополизации экономики и приводит в конечном итоге к разнообразию ракетно-космических услуг. Под устойчивостью рынка сбыта изделий ракетно-космической техники понимается его способность функционировать без вытеснения слабых конкурентов более сильными, что формально выражается в существовании решения системы статических уравнений в точке равновесия с уровнем надежности каждого из изделий, удовлетворяющих системе взаимосвязанных неравенств (45), при реализации которых каждое предприятие обеспечивает получение максимальной величины прибыли.

Определены условия, при выполнении которых рынок функционирует устойчиво и обеспечивает исключение конкурентного вытеснения одного субъекта рынка сбыта изделий ракетно-космической техники другим, а при несоблюдении условий рынок или монополизируется, или постепенно распадается.

Литература

1. Внутрифирменные механизмы бюджетного управления крупным промышленным комплексом по производству ресурсоемких изделий / Д.Г. Гришанов, Г.М. Гришанов, С.А. Кирилина, Д.А. Щелоков – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2009. – 180 с.
2. Модели формирования механизмов стимулирования и бюджетирования деятельно-сти предприятия / В.В. Альтергот, Д.Г. Белова, Д.Г. Гришанов, Д.А. Щелоков – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2009. – 146 с.
3. Юданов А.Ю. Конкуренция: теория и практика, 2-е изд. — М.: Гном-Пресс, 1998.
4. Фатхутдинов Р.А. Менеджмент конкурентоспособности товара. — М.: ЗАО «Бизнес-школа "Интел-Синтез"», 1995.
5. Портер М. Международная конкуренция: Пер с англ. / Под ред. и с предисл. В.Д. Щетинина. — М.: Международные отношения, 1993.
6. Шумпетер Й. Теория экономического развития. — М.: Прогресс, 1982.
7. Чемберлен Э. Теория монополистической конкуренции. — М.: Экономика, 1996.
8. Blaine J. Effect of Price on Subjective Product Evaluations in Perceived Quality, MA: Lexington Books, 1985.