

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЦЕНОВОЙ КОНКУРЕНЦИИ НА РЫНКЕ ЛЕГКИХ САМОЛЕТОВ В УСЛОВИЯХ ДУОПОЛИИ

© 2021

Д.Ю. Иванов, доктор экономических наук, профессор, директор института экономики и управления

С.А. Колычев, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика»

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара (Россия)

Ключевые слова: рынок легких самолетов; рынок ЛС; ЛС; ценовая конкуренция; имитационная модель; олигополия; конкурентное взаимодействие; целевая функция; оптимальная цена; рыночное равновесие; конкурентная стратегия.

Аннотация: Растущий объем производства легких самолетов на отечественных предприятиях за последние два-три года свидетельствует о растущем спросе на данный вид изделий и о заинтересованности государства в развитии данной отрасли авиастроения. Несмотря на медленные темпы развития малой авиации в России, отечественные предприятия, выпускающие легкие самолеты, помимо внутреннего рынка находят своих потребителей за рубежом, на международном рынке, где им приходится сталкиваться с жесткой конкуренцией. Работа посвящена исследованию конкурентного взаимодействия между производителями легких самолетов на рынке в условиях ценовой конкуренции в случае дуополии. Применение специального программного обеспечения позволило сформировать имитационные модели конкурентного взаимодействия для определения траекторий изменений основных экономических параметров, таких как оптимальные цены, выбираемые участниками в соответствии с их целевыми функциями; объемы выпуска; доход и прибыль, получаемые в результате конкурентного взаимодействия. Сформирована математическая модель задачи выбора производителями легких самолетов оптимальной цены на выпускаемые изделия в статическом и динамическом виде. На основе динамической модели с помощью среды моделирования сложных систем Simulink (MATLAB) сформированы имитационные модели механизма конкурентного взаимодействия. Разработаны взаимосвязанные имитационные динамические модели рыночного взаимодействия производителей легких самолетов, учитывающие множество факторов, которые присущи реальным рыночным условиям и специфике отрасли легкомоторного авиастроения. Проведен численный эксперимент по определению влияния значения себестоимости производства на цены выпускаемых изделий, спрос на эти изделия и получаемые участниками рынка результаты.

ВВЕДЕНИЕ

Малая авиация (МА), или, как принято называть ее в других странах, авиация общего назначения (АОН), как один из важнейших разделов авиации, является значимой частью экономической системы. К примеру, в Соединенных Штатах Америки авиация общего назначения только за 2018 год принесла инвестиций в экономику в размере 128 млрд долларов и обеспечила 1,279 млн рабочих мест¹. Отечественная отрасль, к сожалению, развивается крайне медленными темпами, и прирост в парке отечественных судов по разным оценкам составляет всего 5–7 %. Но, несмотря на сложившуюся в данной отрасли ситуацию, некоторые российские авиастроительные предприятия (УЗГА, «Аэроvolга», «Авиаспектр») обладают портфелем заказов на ближайшие несколько лет и наращивают собственное производство. Но даже те предприятия, у которых сформирована стабильная производственная программа, сталкиваются с конкуренцией на международном рынке. Следует отметить, что потенциальный спрос на данный вид техники на внутреннем рынке достаточно большой и оценивается в 13 000–15 000 единиц техники, и действия, направленные на развитие этой отрасли, позволяют сделать вывод, что в ближайшее время объем продаж на отечественном рынке резко возрастет [1]. Отметим,

что на данный момент единый методический подход к разработке и исследованию имитационных моделей взаимодействия между производителями легкомоторной авиационной продукции в условиях конкуренции практически отсутствует.

Экономико-математическое моделирование рыночной конкуренции и определение равновесных параметров рынка основываются на методах теории игр. Особый вклад в развитие основ теории игр и ее применение в экономике внесли такие зарубежные авторы, как А. Cournot, М.Д. Intriligator, Н. Moulin, Ж.Ф. Nash Jr. Их работы посвящены исследованию экономической модели рыночной конкуренции с фиксированным количеством участников, целью которых является максимизация результата.

Исследования вопросов экономико-математического моделирования различных типов конкуренции и конкурентного взаимодействия среди отечественных авторов с учетом специфики отечественных предприятий машиностроительного сектора прежде всего принадлежат С.А. Баркалову, М.И. Гераськину, Г.М. Гришанову, В.В. Морозову, А.Д. Новикову. Их исследования ограничиваются нахождением оптимальных и равновесных значений основных экономических параметров, другими словами, значений статического состояния рынка. Следует отметить, что исследования взаимодействия между отечественными производителями машиностроительной продукции в условиях ценовой конкуренции в динамике с применением имитационного моделирования не проводились, в этой связи возникает необходимость в проведении подобных исследований.

¹Contribution of General Aviation to the US Economy in 2018.
URL: <https://nbaa.org/wp-content/uploads/advocacy/legislative-and-regulatory-issues/business-aviation-essential/General-Aviation-Contribution-to-the-US-Economy-20200219.pdf>.

Цена – это главный инструмент рыночных отношений. Влияние данного экономического параметра на конкурентное взаимодействие на рынке практически любых товаров является основным. Ценовая конкуренция представляет собой один из наиболее сложных процессов. Успешность на рынке любой организации во многом определяется выбором стратегии и тактики ценообразования [2].

Для формирования устойчивой конкурентной ценовой стратегии предприятия должны обосновывать принимаемые решения по выбору оптимальных значений рыночной стоимости выпускаемых изделий, пользуясь современными методами исследования. Компаниям необходимо обладать актуальными инструментами имитационного моделирования, что предполагает использование современных технологий для обработки и анализа больших объемов данных [3]. В данной работе с помощью имитационной модели исследуется рыночное взаимодействие в динамике в условиях ценовой конкуренции. Имитационное моделирование является одним из мощнейших методов анализа экономических систем. Имитационные методы анализа экономических проблем можно отнести к важным аналитическим инструментам, способным оказывать эффективную помощь в принятии управленческих решений на уровне предприятия [4].

Авторами разработана и описана имитационная динамическая модель, которая основывается на динамических параметрах спроса – цены – прибыли, где в условиях конкурентного взаимодействия прослеживается траектория изменения этих параметров [5]. Отдельное внимание уделено изучению влияния затрат на производство на поведение фирм при выборе оптимальной цены, обеспечивающей максимальный результат. Важнейшее преимущество полученной динамической модели заключается в том, что можно быстро просчитывать различные сценарии, моделировать будущие результаты, изменяя исходные данные, полученные экспертным путем [6].

Целью моделирования является постановка вычислительного эксперимента, имитирующего динамику объемов продаж каждого поставщика при различных начальных условиях. Необходимо решить следующую задачу: выяснить влияние изменения объемов продаж, вызванных конкуренцией, на изменение цены продукции [7]. Применение разработанной авторами математической модели позволяет учесть множество взаимосвязанных факторов, влияющих на динамику продаж экономических субъектов в условиях реальной экономической ситуации.

Рынок легкомоторной авиационной техники можно отнести к типу олигополий. Как правило, олигополия характеризуется тремя основными свойствами: немногочисленностью фирм на рынке, высокими барьерами для вступления новых компаний на рынок и всеобщей зависимостью [8; 9]. В данной работе исследуется конкурентное взаимодействие, когда на рынке участвуют два производителя.

Цель исследования – формирование компьютерной экономико-математической динамической имитационной модели конкурентного взаимодействия между производителями легких самолетов в случае дуополии в условиях ценовой конкуренции.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Применена методика математического моделирования задачи выбора оптимальных значений при заданных параметрах спроса и затрат. Модель задачи определения цены была сформирована с учетом того, что основным продуктом производства является многоцелевой легкий самолет, который может выпускаться в различных модификациях при условии максимизации прибыли. В случае ценовой конкуренции на функции спроса

$$q_{ij}(p), i = 1, n,$$

где p – вектор цен, были наложены следующие требования:

$$\frac{\partial q_i}{\partial p_i} < 0; \frac{\partial q_i}{\partial p_j} > 0; i, j = 1, n, i \neq j,$$

т. е. чем выше цена на выпускаемые i -м производителем изделия, тем меньше спрос на них, и чем выше цена изделия у конкурента, тем спрос на продукцию i -го производителя выше. Данное условие является требованием к функциям спроса при формировании конкурентного взаимодействия между производителями на рынке легких самолетов (ЛС) [10].

Проблема моделирования выбора ценовой стратегии при заданных целевых функциях участников рынка легких самолетов сводится к определению равновесных состояний и параметров устойчивости конкурентной среды.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Представим статическую модель задачи выбора оптимальной цены легких самолетов для двух производителей в соответствии с работами [11–13] в следующем виде:

$$\begin{aligned} \text{Pr}_i(p_i) &= p_i q_i(p) - c_i(q_i) \rightarrow \max, \\ q_i(p) &= q_{i0} + a_i^p p_i - b_i^p p_j, i = 1, 2, \\ c_i(q_i) &= c_i^q q_i(p), i = 1, 2, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\text{Pr}_i(p_i)$ – прибыль i -го производителя;

$q_i(p)$ – функция спроса;

q_{i0} – объем рынка при нулевых ценах;

p_i, p_j – цены на выпускаемые самолеты i -го и j -го производителя;

$c_i(q_i)$ – затраты на производство одной модификации легкого самолета;

a_i^p, b_i^p – коэффициенты, характеризующие скорость возрастания и убывания функции спроса относительно изменения цен на продукцию i -го производителя и цены конкурентов.

Выбор оптимальной цены легких самолетов при условии равных удельных затрат ($c_1=c_2=c_0$) определяется в соответствии со

Как следует из полученной системы уравнений, цена, выбираемая каждым участником рынка, зависит от параметров функции спроса, количества производителей на рынке ЛС, начального объема. Другими словами, цена, которую выбирают производители, зависит от параметров модели механизма рыночного взаимодействия (2). Для исследования динамических параметров конкурентного взаимодействия производителей на рынке легких самолетов представим систему уравнений (2) в дискретном виде [14–16]:

$$\begin{cases} P_i(t+1) = \frac{q_0 + c_i a_i^p}{2a_i^p} + \frac{b_i^p}{2a_i^p} P_j(t), \\ P_j(t+1) = \frac{q_0 + c_j a_j^p}{2a_j^p} + \frac{b_j^p}{2a_j^p} P_i(t). \end{cases} \quad (3)$$

На рис. 1 приведен компьютерный алгоритм имитационной динамической модели, с помощью которой осуществляется решение системы уравнений (3). Данная имитационная модель сформирована с использова-

нием программного пакета Simulink (MatLab) [17–19] при следующих исходных данных:

$$\begin{aligned} q_0 &= 50; \\ a_1^p &= a_2^p = 0,95 \cdot 10^{-5}; \\ b_1^p &= b_2^p = 5,5 \cdot 10^{-6}; \\ c_1^q &= c_2^q = 5,8 \cdot 10^6. \end{aligned}$$

На рис. 2 представлены траектории изменения цен на ЛС, выбираемых участниками рынка в процессе конкурентного взаимодействия. Пунктирная линия показывает траекторию производства компании 1, сплошная линия – компании 2.

В результате конкурентного взаимодействия фирмы-производители выбирают оптимальные цены в ответ на цены на свою продукцию, выбранные конкурентами. В случае если компании несут одинаковые издержки при производстве и влияние цен на спрос каждого участника также одинаковое, то на двенадцатом шаге равновесная рыночная цена становится равной у обеих компаний и устанавливается на уровне 7 785 185 руб.

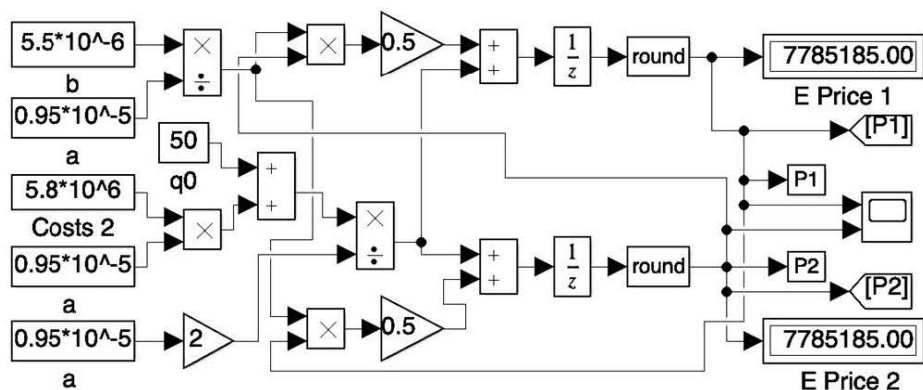


Рис. 1. Динамическая имитационная модель механизма конкурентного взаимодействия на рынке легких самолетов в условиях ценовой конкуренции

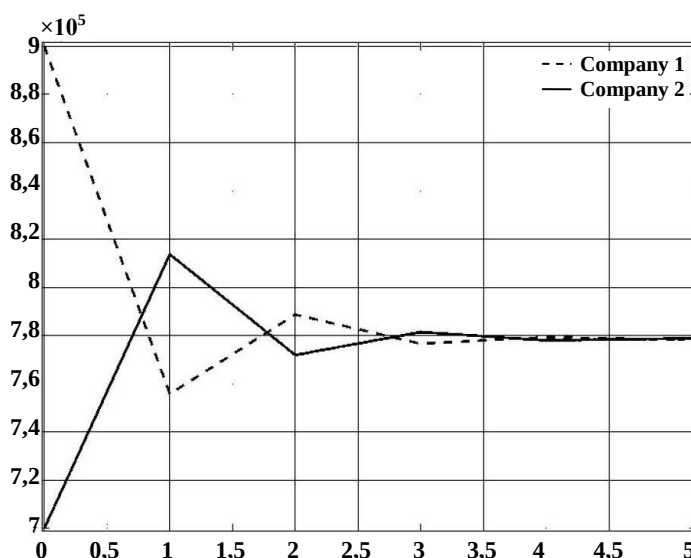


Рис. 2. График выбора цен на легкие самолеты

Подставляя значения цен самолетов $p_1(t)$, $p_2(t)$ в функцию спроса $q_i(t) = q_0 + a_i^p p_1(t) - b_i^p p_2(t)$, определим объемы. Для этого сформируем алгоритм решения компьютерной имитационной модели, позволяющий определить траекторию изменения рыночного объема в процессе конкурентного взаимодействия между двумя компаниями (рис. 3).

Рис. 4 иллюстрирует траекторию изменения рыночного объема выпуска в процессе конкурентного взаимодействия двух компаний по производству ЛС. Анализ представленного рисунка свидетельствует о том, что объем достиг равновесного значения $q_E = q_1 = q_2 = 19$ шт.

Определим суммарный объем выпуска ЛС двумя производителями и его траекторию с использованием результатов решения имитационной динамической модели по определению объемов производства каждым участником, представленных на рис. 3. Общий объем выпуска изделий на рынке ЛС достигает равновесного значения $Q(t) = 37$ шт.

На рис. 5 показан алгоритм решения, позволяющий определить доход, получаемый каждым из двух производителей в процессе конкурентного взаимодействия. Объемы производства предприятий, а также рыночная цена являются входными данными рассматриваемой имитационной модели. На дисплее данной модели отображаются равновесные значения валового дохода и прибыли каждой компании. Так как параметры спроса и затраты на производство у обоих производителей одинаковые, значения дохода и прибыли в точке равновесия равны и составляют 147 918 515 и 37 718 515 руб. соответственно.

На рис. 6 изображен график изменения во времени получаемого каждым производителем валового дохода от продажи ЛС. Сплошная линия показывает динамику показателей компании 1, пунктирная линия – динамику показателей компании 2.

Анализ графиков на рис. 6 показывает, что доход компании 1 резко возрастает в начале конкурентного взаимодействия и затем стабилизируется на уровне

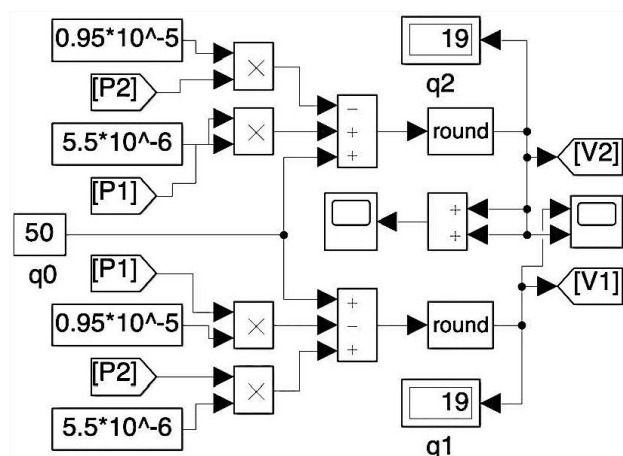


Рис. 3. Имитационная модель определения объемов производства

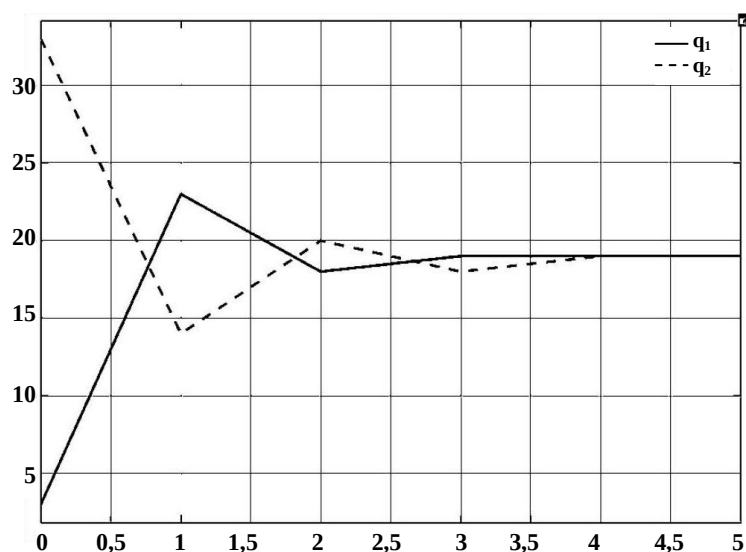


Рис. 4. График изменения объема выпуска в процессе взаимодействия компаний

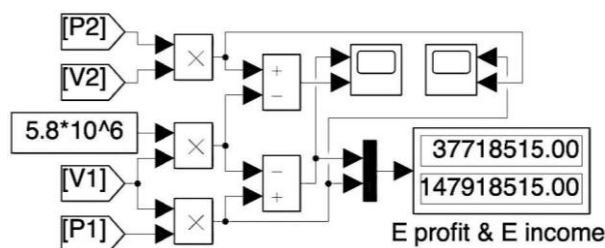


Рис. 5. Модель определения валового дохода и прибыли

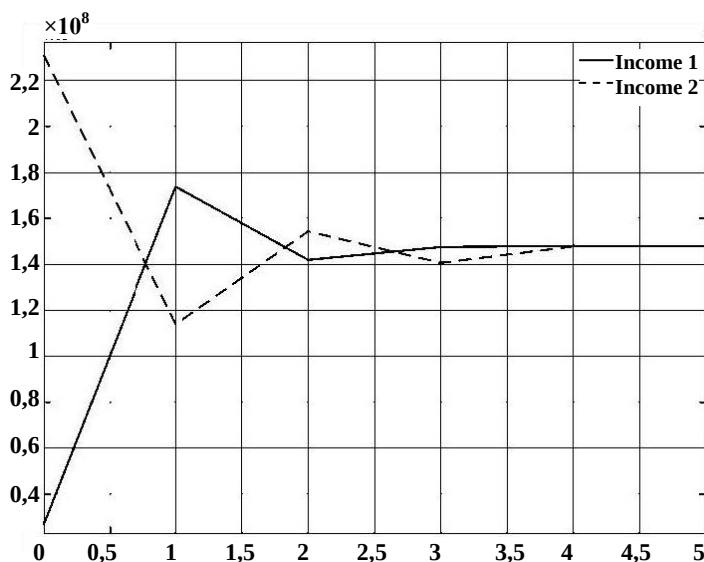


Рис. 6. График изменения валового дохода компаний

равновесного значения. Доход компании 2, наоборот, на первом шаге сильно сокращается, но уже на четвертом шаге стабилизируется вблизи равновесного значения.

Рассмотрим дискретную динамическую модель задачи выбора предприятиями, выпускающими легкие самолеты, конкурентных стратегий при условии различных параметров себестоимости производства [20]:

$$\begin{cases} P_i(t+1) = \frac{q_0 + c_1^q a_i^p}{2a_i^p} + \frac{b_i^p}{2a_i^p} P_j(t), \\ P_j(t+1) = \frac{q_0 + c_2^q a_j^p}{2a_j^p} + \frac{b_j^p}{2a_j^p} P_i(t). \end{cases} \quad (4)$$

где c_1^q и c_2^q – затраты на производство одной модификации легкого самолета.

На рис. 7 представлен алгоритм решения имитационной модели, сформированный для решения системы уравнений (4), которая учитывает различные величины затрат производителей, связанных с выпуском изделий, и различные коэффициенты, характеризующие скорость возрастания и убывания спроса.

Исходные данные:

$$q_0 = 50;$$

$$a_1^p = a_2^p = 0,95 \cdot 10^{-5};$$

$$b_1^p = b_2^p = 5,5 \cdot 10^{-6};$$

$$c_1^q = 5 \cdot 10^6;$$

$$c_2^q = 6 \cdot 10^6.$$

В результате конкурентного взаимодействия цены на изделия первого и второго предприятий принимают различные значения. Компания 2 устанавливает цену изделий выше, чем компания 1. Так происходит в результате того, что себестоимость производства у производителя 1 ниже. Данное конкурентное преимущество влияет на возможность увеличения объемов производства компании 1 на рынке ЛС.

Для определения значений объемов выпускаемой продукции каждым предприятием была сформирована имитационная модель, учитывающая различные параметры: издержки, коэффициенты и т. д. (рис. 8).

С использованием данных решения модели определено, что рыночные равновесные объемы ЛС у первого и второго предприятия равны $q_1=23$ шт. и $q_2=17$ шт. соответственно. Оптимальный объем выпуска у компании 1 выше по причине конкурентного преимущества, выраженного в более низкой себестоимости продукции, несмотря на значительно более высокую начальную цену. При этом величина суммарного объема выпуска изделий на рынке ЛС постоянно увеличивается

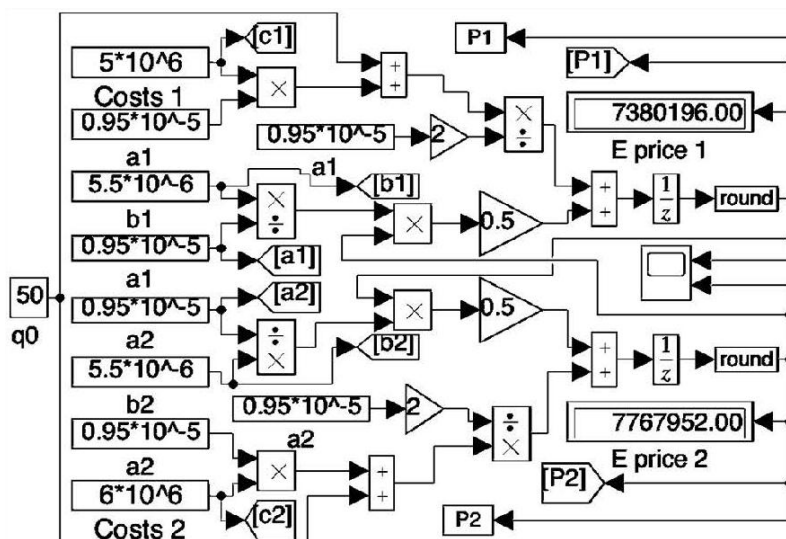


Рис. 7. Модель конкуренции с разными издержками

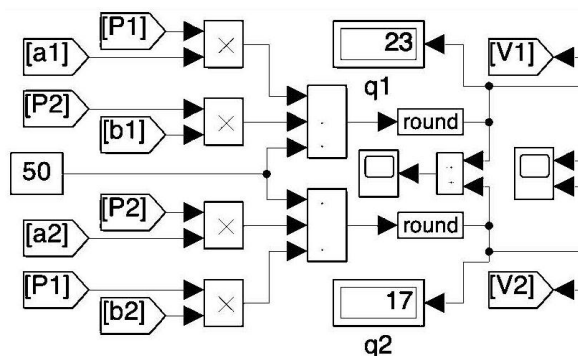


Рис. 8. Имитационная модель определения равновесных объемов выпуска

и достигает значения, равного 40 единицам. В случае одинаковых затрат на выпуск продукции равновесное значение суммарного объема выпуска ЛС меньше.

Исходя из данных рис. 9, можно заметить, что доход первого производителя увеличился, в то время как доход второго уменьшился. Равновесное значение валового дохода предприятия 1 равно 169 744 508 руб., а валовый доход предприятия 2 равен 132 055 184 руб. Равновесное значение прибыли первого и второго предприятия – 54 744 508 и 30 055 184 руб. соответственно.

Такую разницу величин валового дохода предприятий можно объяснить разницей в затратах на производство изделий на рынке ЛС. Производство ЛС у второго предприятия дороже, чем у первого, и поэтому его доходы ниже (рис. 10).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Сформировано и исследовано несколько взаимосвязанных дискретных имитационных динамических моделей конкурентного взаимодействия в условиях ценовой конкуренции.

2. Полученные в результате численного эксперимента данные о траектории изменения объемов произ-

водства, цен, доходов свидетельствуют об устойчивости процессов конкурентного взаимодействия в том смысле, что, несмотря на конкуренцию, каждый из производителей остается на рынке.

Проведенные расчеты, полученные с помощью динамической имитационной модели взаимодействия двух участников рынка легкомоторной авиационной техники в условиях ценовой конкуренции, дают возможность определить динамику изменения основных экономических параметров «спрос – цена – прибыль». Кроме того, данная модель позволяет оценить равновесное состояние рынка, рыночные цены, рыночный объем выпуска, объем дохода и объем прибыли, получаемой каждым производителем от реализации изделий.

Проведенное исследование основывается на применении методов математического и компьютерного динамического имитационного моделирования, что обеспечило обоснование адекватности и достоверности полученных результатов. Использованы дискретные модели механизмов конкурентного взаимодействия совместно с компьютерными алгоритмами, как инструменты обоснованного выбора механизмов, обеспечивающие также устойчивость процессов конкурентного взаимодействия между производителями ЛС и эффективность функционирования каждого предприятия.

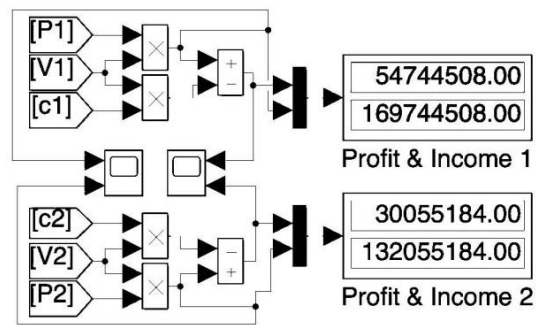


Рис. 9. Модель определения прибыли и дохода участников рынка ЛС

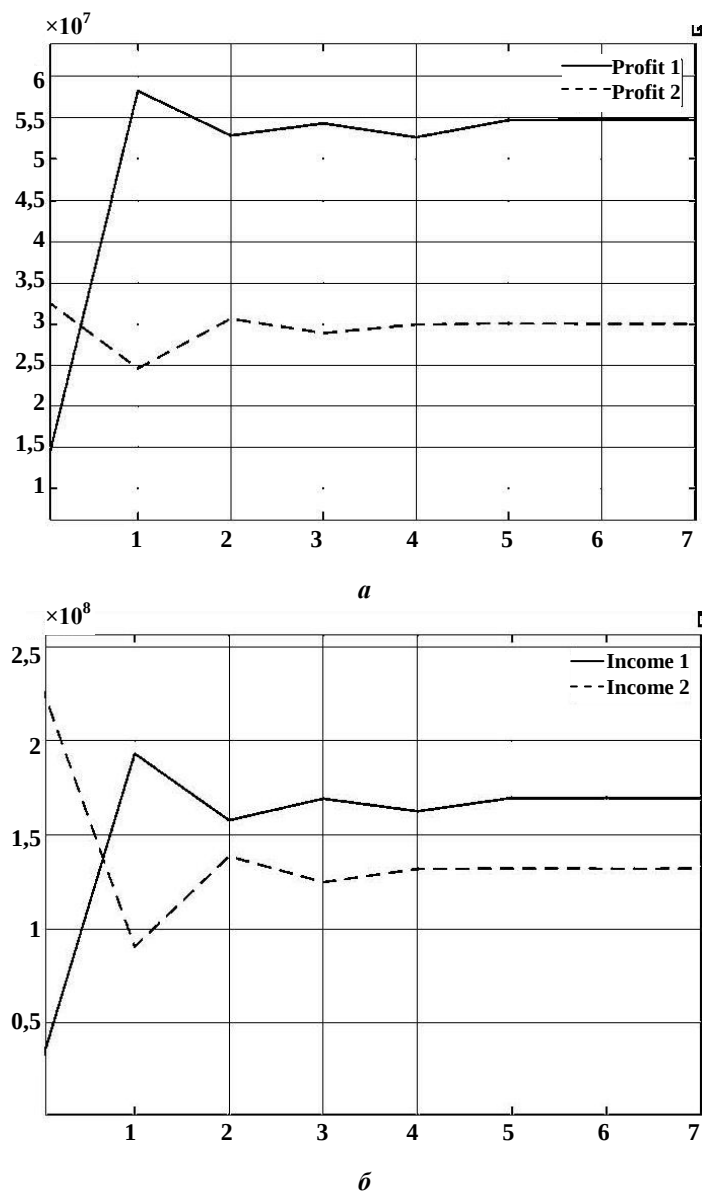


Рис. 10. Графики изменения прибыли (а) и дохода (б)

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Разработанная авторами имитационная динамическая модель задачи выбора оптимальной цены участниками рынка легкомоторной авиационной техники в условиях конкурентного взаимодействия позволяет определять стратегию фирмам, которые полагаются на целевые функции максимизации прибыли, при заданной функции спроса. Модель дает возможность проводить анализ траектории изменения основных параметров рынка в данных условиях.

С помощью модели отдельно исследуется влияние переменного фактора, а именно цены производства, на итоговое значение прибыли, получаемой каждым участником рынка в равновесном состоянии. Когда существует разница в издержках, преимущество получает та фирма, у которой себестоимость продукции ниже, что позволяет получить больший спрос относительно конкурентов и, как следствие, большую прибыль.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соболев Л.Б. Большая миссия малой авиации // Экономический анализ: теория и практика. 2016. № 3. С. 4–16.
2. Deonir D.T., Sperandio G., Busata E.S., Larentisa F. Pricing strategies and levels and their impact on corporate profitability // *Revista de Administração*. 2017. № 52. P. 120–133.
3. Gregory K.L., Zona J.D. Simulation in Competitive Analysis // *Issues in competition law and policy*. 2008. P. 1405–1437.
4. Новоторов А.В., Бриках Г.Е. Комплексный анализ рыночной деятельности предприятий с использованием имитационной модели совершенной конкуренции // Экономический анализ: теория и практика. 2012. № 26. С. 2–6.
5. Гришанов Г.М., Колычев С.А., Иванов Д.Ю. Имитационное моделирование динамики конкурентного взаимодействия между производителями легкомоторной авиационной техники в условиях объемной конкуренции // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2021. Т. 12. № 2. С. 180–191.
6. Ткачев А.А., Стрелина С.И. Моделирование конкурентоспособности предприятий ИКТ-сектора на основе системно-динамического подхода // Новое в экономической кибернетике. 2018. № 1. С. 25–34.
7. Сорокин С.А., Варпаева И.А., Гришина О.В. Имитационное моделирование конкурентной стратегии ценообразования // Историко-экономические исследования. 2019. Т. 20. № 2. С. 294–321.
8. Першин В.К., Кислицын Е.В. Исследование олигополистического рынка природного газа методами теоретико-игрового моделирования // Управленец. 2016. № 5. С. 70–76.
9. Pursky O., Dubovyk T., Moroz I., Buchatska I., Savchuk A. The price competition simulation at the trading market in the presence of electronic and traditional trade // *SHS Web Conference*. 2019. Vol. 65. P. 1–6. DOI: [10.1051/shsconf/20196504001](https://doi.org/10.1051/shsconf/20196504001).
10. Гришанов Г.М., Колычев С.А., Клентак Л.С. Модели конкурентного взаимодействия между предприятиями и формирование параметрически устойчи-

вых равновесных состояний // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева. 2012. № 6. С. 19–25.

11. Мулен Э. Теория игр с примерами из математической экономики. М.: Мир, 1985. 200 с.
12. Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970. 720 с.
13. Новиков Д.А., Губко М.В. Теория игр в управлении организационными системами. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова, 2005. 139 с.
14. Колычев С.А., Иванов Д.Ю. Моделирование конкурентного взаимодействия между производителями легких самолетов в условиях неценовой конкуренции // Вестник НГИЭИ. 2018. № 1. С. 142–154.
15. Гришанов Д.Г., Щелоков Д.А., Наумов К.В., Кирилина С.А. Формирование конкурентных стратегий на рынке ракетно-космической техники в условиях ценовой дуополюной конкуренции // Финансовая аналитика: проблемы и решения. 2011. № 2. С. 16–22.
16. Гришанов Д.Г., Кирилина С.А., Щелоков Д.А. Экономико-математическое моделирование выбора конкурентных стратегий на рынке ракетно-космической техники // Проблемы современной экономики. 2010. № 4. С. 92–96.
17. Сорокина М.Г., Банкова К.В. Формирование финансовых параметров кредитного портфеля коммерческого банка на основе динамических имитационных моделей // Вестник Самарского муниципального института управления. 2018. № 3. С. 67–76.
18. Тимохин А.Н., Румянцев Ю.Д. Моделирование систем управления с применением Matlab. М.: Инфра-М, 2016. 256 с.
19. Дьяконов В.П. Simulink. Самоучитель. М.: ДМК-Пресс, 2015. 782 с.
20. Baiardi L.C., Naimzada A.K. Experimental oligopolies modeling: A dynamic approach based on heterogeneous behaviors // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. 2018. Vol. 58. № SI. P. 47–61.

REFERENCES

1. Sobolev L.B. A high mission of general aviation. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika*, 2016, no. 3, pp. 4–16.
2. Deonir D.T., Sperandio G., Busata E.S., Larentisa F. Pricing strategies and levels and their impact on corporate profitability. *Revista de Administração*, 2017, no. 52, pp.

6. Tkachev A.A., Strelina S.I. Modeling competitiveness of it-sector enterprises based on the system-dynamic approach. *Novoe v ekonomicheskoy kibernetike*, 2018, no. 1, pp. 25–34.
7. Sorokin S.A., Varpaeva I.A., Grishina O.V. Simulation modeling of competitive strategy of pricing. *Istoriko-ekonomicheskie issledovaniya*, 2019, vol. 20, no. 2, pp. 294–321.
8. Pershin V.K., Kislytsyn E.V. Research of the oligopolistic natural gas market by methods of game-theoretic modeling. *Upravlenets*, 2016, no. 5, pp. 70–76.
9. Pursky O., Dubovyk T., Moroz I., Buchatska I., Savchuk A. The price competition simulation at the trading market in the presence of electronic and traditional trade. *SHS Web Conference*, 2019, vol. 65, pp. 1–6. DOI: [10.1051/shsconf/20196504001](https://doi.org/10.1051/shsconf/20196504001).
10. Grishanov G.M., Kolychev S.A., Klentak L.S. Models of competitive interaction between enterprises and formation of parametrically stable equilibrium states. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Koroleva*, 2012, no. 6, pp. 19–25.
11. Mullen E. *Teoriya igr s primerami iz matematicheskoy ekonomiki* [Game theory with examples from mathematical economics]. Moscow, Mir Publ., 1985. 200 p.
12. Morgenshtern O. *Teoriya igr i ekonomicheskoe povedenie* [Game theory and economic behavior]. Moscow, Nauka Publ., 1970. 720 p.
13. Novikov D.A., Gubko M.V. *Teoriya igr v upravlenii organizatsionnymi sistemami* [Game theory in the management of organizational systems]. Moscow, Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova Publ., 2005. 139 p.
14. Kolychev S.A., Ivanov D.Yu. Modeling of competitive interaction between manufacturers of light aircraft in a non-price competitive environment. *Vestnik NGIEI*, 2018, no. 1, pp. 142–154.
15. Grishanov D.G., Shchelokov D.A., Naumov K.V., Kirilina S.A. Formation of competitive strategies in the rocket and space technology market in conditions of duopoly price competition. *Finansovaya analitika: problemy i resheniya*, 2011, no. 2, pp. 16–22.
16. Grishanov D.G., Kirilina S.A., Shchelokov D.A. Economical-mathematical modeling of the choice of competitive strategies on the market of aerospace equipment (Russia, Samara). *Problemy sovremennoy ekonomiki*, 2010, no. 4, pp. 92–96.
17. Sorokina M.G., Bankova K.V. Formation of financial parameters of credit portfolio of a commercial bank based on dynamic simulation models. *Vestnik Samarskogo munitsipalnogo instituta upravleniya*, 2018, no. 3, pp. 67–76.
18. Timokhin A.N., Rumyantsev Yu.D. *Modelirovanie sistem upravleniya s primeneniem Matlab* [Modeling control systems using Matlab]. Moscow, Infra-M Publ., 2016. 256 p.
19. Dyakonov V.P. *Simulink. Samouchitel* [Simulink. Self-study guide]. Moscow, DMK-Press Publ., 2015. 782 p.
20. Baiardi L.C., Naimzada A.K. Experimental oligopolies modeling: A dynamic approach based on heterogeneous behaviors. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2018, vol. 58, no. SI, pp. 47–61.

ECONOMIC AND MATHEMATICAL SIMULATION MODEL OF PRICE COMPETITION IN THE LIGHT AIRCRAFT MARKET UNDER THE DUOPOLY CONDITIONS

© 2021

D.Yu. Ivanov, Doctor of Sciences (Economics), Professor, Director of the Institute of Economics and Management
S.A. Kolychev, PhD (Economics), assistant professor of Chair “Economics”
Academician S.P. Korolev Samara National Research University, Samara (Russia)

Keywords: light aircraft market; LA market; LA; price competition; simulation model; oligopoly; competitive interaction; target function; optimal price; market equilibrium; competitive strategy.

Abstract: The growing volume of light aircraft production at the domestic enterprises over the past two to three years indicates the increasing demand for this type of product and the government’s interest in the aircraft industry development. Despite the slow pace of development of small aircraft in Russia, domestic enterprises producing light aircraft, except for the domestic market, find their customers abroad, in the international market, where they have to face tough competition. The work deals with the study of the competitive interaction between light aircraft manufacturers in the market in the context of price competition in the case of a duopoly. Using special software, the authors formulated competitive interaction simulation models determining the trajectories of changes in the key economic parameters such as the best prices selected by market participants according to their target functions, production volume, earnings and profit gained as the result of competitive interaction. The authors formed a mathematical model of choosing the optimal price for the products in the static and dynamic versions by the participants of the light aircraft market. Based on the dynamic model using the Simulink (MATLAB) simulation environment for complex systems, the authors formed simulation models of the competitive interaction mechanism; developed the correlated simulation dynamic models of market interaction of light aircraft manufacturers considered many factors inherent in actual market conditions and specificity of the light aircraft industry. The work includes the numerical experiment to determine the influence of cost price value on the prices for produced goods, the demand for these products, and the results gained by the market participants.