

Гераськин, М. И. Анализ тенденций спроса и издержек операторов телекоммуникационного рынка России / М. И. Гераськин, К. С. Моисеева // Прикладная математика и вопросы управления. – 2023. – № 3. – С. 157–174. DOI 10.15593/2499-9873/2023.3.11

Библиографическое описание согласно ГОСТ Р 7.0.100–2018

Гераськин, М. И. Анализ тенденций спроса и издержек операторов телекоммуникационного рынка России / М. И. Гераськин, К. С. Моисеева. – Текст : непосредственный. – DOI 10.15593/2499-9873/2023.3.11 // Прикладная математика и вопросы управления / Applied Mathematics and Control Sciences. – 2023. – № 3. – С. 157–174.



**ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА
И ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ**

№ 3, 2023

<https://ered.pstu.ru/index.php/amcs>



Научная статья

DOI 10.15593/2499-9873/2023.3.11

УДК 330.43



Анализ тенденций спроса и издержек операторов телекоммуникационного рынка России

М.И. Гераськин, К.С. Моисеева

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Российская Федерация

О СТАТЬЕ

Получена: 19 июня 2023
Одобрена: 11 сентября 2023
Принята к публикации:
18 сентября 2023

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

равноценен.

Ключевые слова:

олигополия, телекоммуникационный рынок, линейные и нелинейные функции спроса и издержек.

АННОТАЦИЯ

Осуществлен анализ функций спроса и издержек операторов мобильной связи, лидирующих на телекоммуникационном рынке. Методы, использованные в исследовании: математическое моделирование, регрессионный анализ, оптимизация.

Телекоммуникационный рынок России является олигополией, что дает возможность проанализировать динамику развития трех доминирующих фирм («МТС», «Мегафон» и «ВымпелКом»), так как именно они в большей степени влияют на рынок. Рассмотрены различные модели спроса и издержек в соответствии с динамикой развития телекоммуникационного рынка. Анализ ряда средневзвешенных цен голосовой связи в зависимости от суммарного объема голосового трафика услуг показал наличие линейной и степенной моделей обратной функции спроса в 2002–2021 гг. Рассмотрены функции издержек операторов мобильной связи и выявлена прямая зависимость издержек от объема голосового трафика. Функции издержек, как и функции спроса, имеют линейный и степенной характер в различные периоды развития операторов, что указывает на различные типы эффекта расширения масштаба.

Установлена закономерность влияния ценовой динамики на рост рынка: степенной понижательный тренд цен стимулировал интенсивный рост рынка, линейный понижательный тренд способствовал плавному росту, а возрастающий тренд, соответствующий эффекту Гиффена, вызвал стагнацию; доказано, что концентрация телекоммуникационного рынка, главным образом, определяет изменение рыночной цены услуги связи; определены принципы влияния эффекта расширения масштаба на изменение рыночной доли компании: постоянная отдача от расширения масштаба может приводить как к росту, так и к сужению рыночной доли оператора, в зависимости от того, наращивает компания темпы инвестирования или сокращает; положительный эффект расширения масштаба, как правило, обуславливает рост рыночной доли оператора, а отрицательный эффект приводит к сокращению рыночной доли.

Проведенные исследования могут использоваться для дальнейшего анализа фактических данных и тенденций функций спроса и издержек компаний телекоммуникационного рынка.

© ПНИПУ

© **Гераськин Михаил Иванович** – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой математических методов в экономике Института экономики и управления, e-mail: innovation@ssau.ru, ORCID: 0000-0003-0381-5830.

Моисеева Кристина Сергеевна – студентка III курса Бизнес-информатики Института экономики и управления, e-mail: i@moiseeva-kristina.ru, ORCID: 0009-0004-6728-3313.



Эта статья доступна в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

Perm Polytech Style: Geraskin M. I., Moiseeva K. S. Analysis of demand and cost trends of telecommunications market operators in Russia. *Applied Mathematics and Control Sciences*. 2023, no. 3, pp. 157–174. DOI: 10.15593/2499-9873/2023.3.11

MDPI and ACS Style: Geraskin, M. I.; Moiseeva, K. S. Analysis of demand and cost trends of telecommunications market operators in Russia. *Appl. Math. Control Sci.* **2023**, 3, 157–174. <https://doi.org/10.15593/2499-9873/2023.3.11>

Chicago/Turabian Style: Geraskin, Mikhail I., and Kristina S. Moiseeva. 2023. “Analysis of demand and cost trends of telecommunications market operators in Russia”. *Appl. Math. Control Sci.* no. 3: 157–174. <https://doi.org/10.15593/2499-9873/2023.3.11>



APPLIED MATHEMATICS
AND CONTROL SCIENCES

№ 3, 2023

<https://ered.pstu.ru/index.php/amcs>



Article

DOI 10.15593/2499-9873/2023.3.11

UDC 330.43



Analysis of demand and cost trends of telecommunications market operators in Russia

M.I. Geraskin, K.S. Moiseeva

Samara National Research University named after academician S.P. Korolev,
Samara, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 19 June 2023
Approved: 11 September 2023
Accepted for publication:
18 September 2023

Funding

This research received
no external funding.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict
of interest.

Author Contributions

equivalent.

Keywords:

oligopoly, telecommunications
market, linear and nonlinear de-
mand and cost functions

ABSTRACT

The analysis of the functions of demand and costs of mobile operators leading in the telecommunications market is carried out. Methods used in the study: mathematical modeling, regression analysis, optimization.

The Russian telecommunications market is an oligopoly, which makes it possible to analyze the dynamics of the development of the three dominant firms (MTS, MegaFon and VimpelCom), since they are the ones that influence the market to a greater extent. Various models of demand and costs are considered in accordance with the dynamics of the development of the telecommunications market. Analysis of a number of weighted average voice communication prices depending on the total volume of voice traffic of services showed the presence of linear and power-law models of the inverse demand function in 2002–2021. The functions of the costs of mobile operators are considered and the direct dependence of costs on the volume of voice traffic is revealed. Cost functions and demand functions have a linear and power-law character in different periods of operator development, which indicates different types of scale expansion effects.

The regularity of the influence of price dynamics on market growth is established: a power-law downward trend in prices stimulated intensive market growth, a linear downward trend contributed to smooth growth, and an increasing trend corresponding to the Giffen effect caused stagnation; it is proved that the concentration of the telecommunications market mainly determines the change in the market price of communication services; the principles of the impact of the scale-up effect on the change in the company's market share are defined: the constant return on scale-up can lead to both an increase and a narrowing of the operator's market share, depending on whether the company increases the pace of investment or reduces; the positive effect of scale-up, as a rule, causes an increase in the operator's market share, and the negative effect leads to a reduction in market share/

The conducted research can be used for further analysis of the actual data and trends of demand functions and costs functions of telecommunications market companies.

© PNRPU

© **Mikhail I. Geraskin** – Doctor of Science in Economics, Professor, Head of the Department of Mathematical Methods in Economics of the Institute of Economics and Management, e-mail: innovation@ssau.ru, ORCID: 0000-0003-0381-5830.

Kristina S. Moiseeva – 3rd year student of Business-Informatics of the Institute of Economics and Management, e-mail: i@moiseeva-kristina.ru, ORCID: 0009-0004-6728-3313.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

Введение

Одним из наиболее динамично развивающихся рынков России является телекоммуникационный рынок, на котором операторы мобильной связи активно конкурируют за расширение рыночных ниш. В первые два десятилетия XX в. лидирующими компаниями в сфере услуг мобильной связи были «МТС», «МегаФон» и «ВымпелКом», образующие так называемую «Большую тройку», что позволяет считать этот рынок олигополией [1]. Как тип рыночной структуры олигополия характеризуется наличием малого количества фирм, предлагающих потребителям товар или услугу, которые удовлетворяют определенную потребность, т.е. имеют единую кривую спроса. Кроме того, фирмы олигополии взаимосвязаны вследствие влияния стратегии каждой фирмы на изменение равновесной рыночной цены и, как следствие, на уровни прибыли всех фирм с учетом их функций издержек. Поэтому выбор стратегии фирмы на рынке олигополии предопределен двумя факторами – функцией спроса и функцией издержек, анализ которых является предметом исследования данной статьи.

В 2021 г. в России насчитывалось около 260 млн абонентов сотовой связи. Телекоммуникационные компании «Большой тройки» имели преобладающие доли рынка в России в 2021 г. (рис. 1). Наряду с «большой тройкой» приближалась к лидерам компания «Теле2» (18,5 % абонентов сотовой связи), однако в 2022 г. операции этой компании в России сократились [2], поэтому в нашем исследовании эта компания не рассматривается.

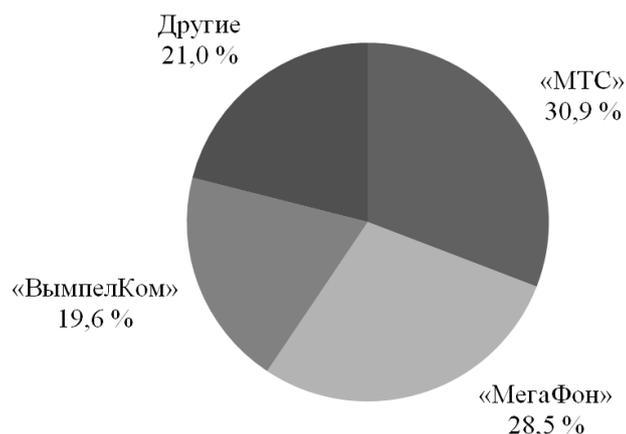


Рис. 1. Доли телекоммуникационного рынка по количеству абонентов сотовой связи в 2021 г.

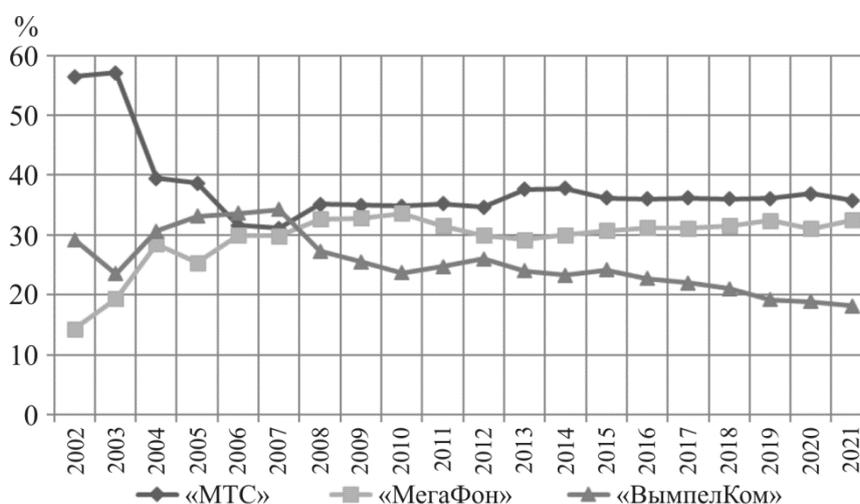


Рис. 2. Доли лидирующих компаний телекоммуникационного рынка по объему голосового трафика за 2002–2021 гг.

В ретроспективе в 2002–2005 гг. лидирующую позицию занимала компания «МТС», а впоследствии, в 2006–2021 гг., позиции игроков «Большой тройки» выровнялись, хотя доля компании «ВымпелКом» постепенно снижалась за счет вытеснения другими игроками (рис. 2).

Анализируя комплексную характеристику телекоммуникационного рынка с помощью индекса Херфиндаля – Хиршмана (рис. 3), отметим очень высокую концентрацию рынка в 2002–2008 гг. и постепенный рост конкуренции в последующие годы.

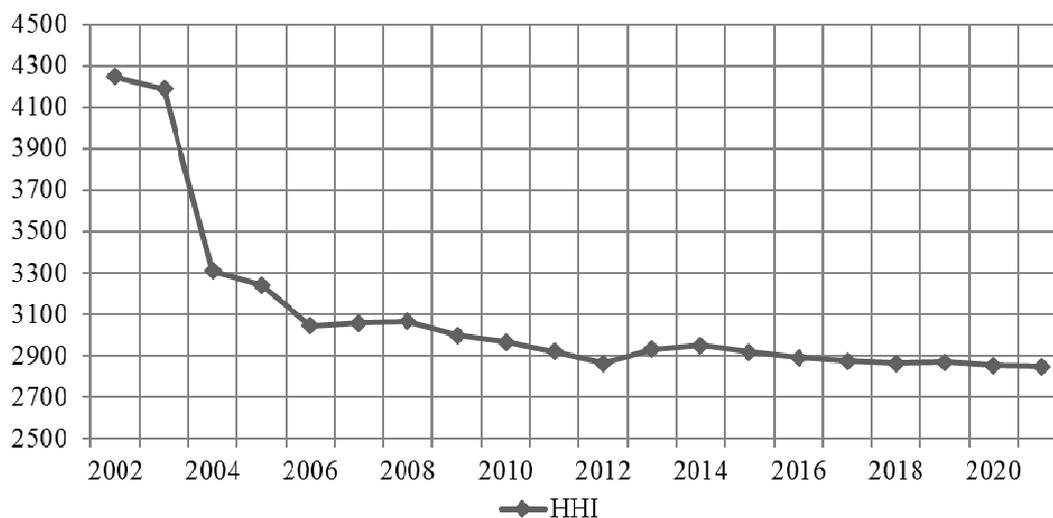


Рис. 3. Динамика индекса Херфиндаля – Хиршмана по компаниям «Большой тройки» за 2002–2021 гг.

Таким образом, количественные характеристики телекоммуникационного рынка позволяют анализировать его тренды на основе методологии теории игр олигополии.

1. Постановка задачи

Рассмотрим задачу недифференцированной олигополии в случае объемной конкуренции, при которой операторы телекоммуникационного рынка конкурируют за предпочтения потребителей услуг связи. При этом конкуренция такова, что в игре участвует относительно малое число игроков, при котором действия (т.е. объемы выпуска) каждого игрока влияют на полезность всех остальных (т.е. окружения). Игроки предлагают идентичную услугу связи, спрос на которую создается потребностью бесконечного количества покупателей, причем функция спроса монотонно убывает. Игроки рациональны, т.е. индивидуальные полезности (в данном случае прибыли) зависят от действий игроков как вогнутые функции (т.е. функции издержек неубывающие), причем каждый выбирает действия, максимизирующие его функцию полезности исходя из доступной ему информации о действиях окружения.

В этом случае можно записать модель выбора действия игрока следующего вида:

$$\max_{Q_i \geq 0} \prod_i (Q, Q_i) = P(Q)Q_i - C_i(Q_i), \quad i \in N = \{1, \dots, n\}, \quad (1)$$

$$Q = \sum_{i \in N} Q_i, \quad (2)$$

где Q_i , P_i – действие и функция полезности i -го игрока; Q – агрегат действий; N – множество игроков; n – количество игроков; $P(Q)$ – обратная функция спроса, $P'_Q < 0$; $C_i(Q_i)$ – функция издержек i -го игрока, $C'_{Q_i} \geq 0$.

Рассмотрим линейную и степенную функции спроса:

$$P(Q) = a - bQ, \quad a > 0, \quad b > 0, \quad a \gg b, \quad (3)$$

$$P(Q) = AQ^\alpha, \quad A > 0, \quad \alpha < 0, \quad |\alpha| < 1, \quad (4)$$

а также линейную, степенную и квадратичную функции издержек агентов:

$$C(q) = B_0 + B_1q, \quad B_0 \geq 0, \quad B_1 > 0, \quad (5)$$

$$C(q) = B_0 + B_1q^\beta, \quad B_0 \geq 0, \quad B_1 > 0, \quad \beta \in (0, 2), \quad (6)$$

$$C(q) = B_0 + B_1q + \frac{B_2}{2}q^2, \quad (7)$$

где A, a, b, α – коэффициенты регрессий обратной функции спроса, B_0, B_1, B_2, β – коэффициенты функции издержек, причем B_0 – постоянные издержки, B_1 – предельные издержки, β – показывает эффект расширения масштаба (при положительном эффекте $0 < \beta < 1$, при отрицательном эффекте $1 < \beta < 2$).

Очевидно, для решения задачи (1), (2) необходимо определить обратную функцию спроса, которая будет показывать зависимость средневзвешенной цены от объема голосового трафика, и функции издержек операторов. Поэтому эти функции являются ключевыми для нахождения равновесия на телекоммуникационном рынке, и целью данной статьи является определение этих функций и их анализ.

2. Обзор литературы

Исследования структуры телекоммуникационного рынка, его состояния и динамики [3–7] за 2002–2015 гг. продемонстрировали убывающую (в 2002–2009 гг. нелинейную выпуклую, а начиная с 2010 г. линейную) функцию спроса и нелинейные (выпуклые или вогнутые) функции издержек операторов «Большой тройки». Исследователи олигополии рассматривали в своих публикациях как линейные модели олигополии [8–13], так и нелинейные [14–18], что позволяет на их основе проанализировать динамику телекоммуникационного рынка. Однако в данных работах не уделялось должного внимания анализу разнообразия моделей этих функций. Поэтому предмет исследования заключается в изучении причин адекватности различных функций спроса и издержек на разных временных этапах развития олигопольных рынков и их влияния на динамику развития телекоммуникационного рынка.

Наиболее часто авторы в своих публикациях применяли линейные модели спроса и издержек, так как на основе этих функций более удобно анализировать стратегии агентов с позиций их оптимальности. Также некоторые исследователи демонстрировали приверженность к линейным трендам, так как они больше подходят для анализа функций спроса и издержек на стабилизировавшихся рынках. В ряде исследований были получены условия информационного равновесия для олигополистического рынка с линейными функциями спроса и издержек. Анализ публикаций показывает, что для трехагентной олигополии тренды спроса и издержек значительно усложняются, поэтому линейные модели в данном случае неадекватны. В некоторых работах степенная функция спроса применялась из-за резкого понижения средневзвешенной цены на рынке по причине роста конкуренции на телекоммуникационном рынке [3].

В публикациях [19–21] была доказана несостоятельность линейных моделей функции издержек: А. Уолтерс и П. Гхемават в своих исследованиях основывались на других публикациях, в которых анализировались издержки, и, таким образом, доказали реалистичность неубывающих выпукловогнутых функций издержек, то есть наличие эффекта расширения масштаба производства в функциях издержек. Выпуклость и вогнутость функции издержек, определяемая показателем степени функции, выражает тип эффекта масштаба. Так, вогнутая функция издержек характеризует положительный эффект расширения масштаба, а выпуклая – отрицательный.

Опираясь на эти исследования, проанализируем развитие телекоммуникационного рынка вплоть до последних доступных статистических данных, за период 2002–2021 гг.

3. Методика обработки данных для анализа функций спроса и издержек

Рассмотрим базовые показатели операторов телекоммуникационного рынка, отражаемые в статистической отчетности, которые включают в себя объемные и удельные показатели. Объемным показателем является количество абонентов сотовой связи, которое характеризует уровень проникновения конкретного оператора на рынок.

К удельным показателям телекоммуникационного рынка, данные по которым рассчитаны и представлены в годовых отчетах операторов связи [22–24], относятся следующие характеристики.

Среднее количество использованных минут на одного абонента в месяц (MoU^1) рассчитывается путем деления общего количества минут входящих и исходящих звонков за данный месяц (исключая роумеров-гостей) на среднее число активных абонентов в данном месяце [25]:

$$MoU_i = \frac{Q_i}{12q_i}, \quad (8)$$

где $\frac{Q_i}{12}$ – общее количество минут входящих и исходящих звонков за месяц i -го оператора;

q_i – количество абонентов i -го оператора.

Средняя выручка на одного пользователя ($ARPU^2$) рассчитывается путем деления общего дохода оператора связи на число активных пользователей за период:

$$ARPU_i = \frac{P_i^c Q_i^c + P_i^u Q_i^u}{12q_i}, \quad (9)$$

где $P_i^c Q_i^c$ – выручка от голосовой связи i -го агента, $P_i^u Q_i^u$ – выручка от интернет-передачи данных i -го агента, $P_i^c Q_i^c + P_i^u Q_i^u$ – суммарная выручка от голосовой связи и интернет-передачи данных i -го агента; q_i – количество абонентов i -го оператора; P_i, Q_i – цена и объем услуг i -го агента; индексами «г», «и» обозначены голосовые услуги и интернет-передача данных соответственно.

Объем голосового трафика (Q) за год для i -го агента рынка определяется на основе количества абонентов фирмы и показателя MoU по следующей формуле:

¹ От англ. Minutes of Usage.

² От англ. Average Revenue per use.

$$Q_i = 12q_i MoU_i, \tag{10}$$

где q_i – количество абонентов i -го оператора.

Данные статистики объемов голосового трафика трех компаний в 2002–2021 гг. представлены далее в табл. 1–4.

Средняя стоимость минуты голосового трафика оператора ($APPM^3$), соответствующая цене минуты P_i , рассчитывается путем деления $ARPU$ на MoU :

$$P_i = ARPU_i / MoU_i. \tag{11}$$

Средневзвешенная цена минуты голосовой связи на телекоммуникационном рынке (P) рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^3 P_i^c Q_i^c}{\sum_{i=1}^3 Q_i}. \tag{12}$$

Данные о средневзвешенной цене голосовой связи в 2002–2021 гг. представлены в табл. 4.

Анализ данных для функции издержек базируется на годовой бухгалтерской (финансовой) отчетности компаний [26–28]. Суммарные издержки компании (C_i) были рассчитаны суммированием в отчете о финансовых результатах таких показателей, как себестоимость продаж, коммерческие и управленческие расходы (см. табл. 1). Для выделения издержек по голосовой связи (C_i^c) используем подход, основанный на пропорциональности выручки и издержек:

$$C_i^c = C_i \frac{P_i^c Q_i^c}{P_i^c Q_i^c + P_i^u Q_i^u}. \tag{13}$$

Таблица 1

Суммарные издержки операторов за 2002–2021 гг., млрд. руб.

Компания	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
МТС	17,8	25,2	36,6	51,2	70,4	88,0	114	131	150	182	201	218	234	241	242	241	239	245	260	278
МегаФон	5,7	9,3	16,0	21,9	27,4	35,0	57	84	140	162	179	184	200	207	219	242	255	270	263	284
Вымпел-Ком	8,6	10,1	12,2	43,3	70,4	91,0	111	123	136	175	198	214	235	240	250	248	244	235	240	240

В формуле (13) суммарная выручка от голосовой связи и интернет-передачи данных i -го агента из формулы (9) находится по формуле:

$$P_i^c Q_i^c + P_i^u Q_i^u = 12q_i ARPU_i. \tag{14}$$

С учетом информации о выручке от интернет-передачи данных агентов [26–28] выручку от голосовой связи рассчитаем следующим образом:

$$P_i^c Q_i^c = 12q_i ARPU - P_i^u Q_i^u, \tag{15}$$

где $P_i^u Q_i^u$ – выручка от интернет-передачи данных i -го агента, которая известна из отчетов компаний.

³ От англ. Average Price Per Minute.

Данные по издержкам на голосовую связь представлены в табл. 2.

Таблица 2

Издержки по голосовому трафику операторов за 2002–2021 гг., млрд. руб.

Компания	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
МТС	17,8	25	36	49,7	66,6	82,8	110	124	138	164	175	180	182	184	192	187	183	187	197	210
МегаФон	5,7	9	16	21,3	25,7	32,8	56	79	129	145	156	149	150	158	150	162	164	168	160	174
Вымпел-Ком	8,6	10	12	42,5	67,5	87,0	109	118	127	161	170	184	186	180	186	182	178	168	170	171

4. Результаты анализа функций спроса и издержек

4.1. Результаты анализа функции спроса

Анализ ряда средневзвешенных цен голосовой связи в зависимости от суммарного объема этих услуг (см. табл. 3, 4) показал наличие линейных и нелинейных трендов обратной функции спроса (рис. 4).

Таблица 3

Объем голосового трафика трех компаний в 2002–2021 гг.

Компания	Трафик, млн мин									
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
МТС	11634	29879	44153	67823	79243	108147	158985	177238	180891	237564
МегаФон	2943	10139	25766	48911	74999	103781	149607	166335	193596	212997
ВымпелКом	6022	12307	30223	51600	69339	104340	125315	129087	136084	163296
Сумма	20598	52324	100143	168334	223581	316268	433907	472660	510571	613857
Трафик, млн мин	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
МТС	276072	338945	351814	353892	358000	363400	365976	365442	374000	374270
МегаФон	224494	241998	270994	294556	310080	312904	320045	328016	314542	340300
ВымпелКом	176800	198000	218880	208320	225971	220932	213679	194700	191616	189720
Сумма	677366	778942	841687	856768	894051	897236	899700	888158	882178	906311

Таблица 4

Средневзвешенная цена минуты голосовой связи на телекоммуникационном рынке в 2002–2021 гг.

Параметр	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Цена, руб. мин	5,02	3,75	2,38	1,86	1,60	1,51	1,43	1,24	1,20	1,09	1,05	1,03	0,94	0,90	0,87	0,89	0,91	0,94	0,94	0,98

Графический анализ позволяет выделить следующие периоды: 2002–2009, 2010–2016, 2017–2021 гг. На основе метода наименьших квадратов (МНК) в процессоре Excel получены значения коэффициентов регрессионных моделей и статистические оценки [29] параметров функции спроса, которые приведены в табл. 5. Высокое значение коэффициента детерминации для степенной регрессии в 2002–2009 гг. и линейной регрессии в 2010–2016 гг. показывает адекватность и точность моделей. Расчетное значение F -критерия сравнивается с критическим значением при уровне значимости 0,05. Большее (по сравнению с критическим) значение F -критерия показывает статистическую значимость уравнений регрессии в 2002–2009 и 2010–2016 гг.

Сравнительный анализ ряда средневзвешенных цен голосовой связи и динамики индекса Херфиндаля – Хиршмана (см. рис. 3) показывает значимо высокую тесноту их связи,

поскольку коэффициент корреляции этих рядов составил 0,979. Следовательно, *изменение рыночной цены напрямую зависит от концентрации телекоммуникационного рынка.*

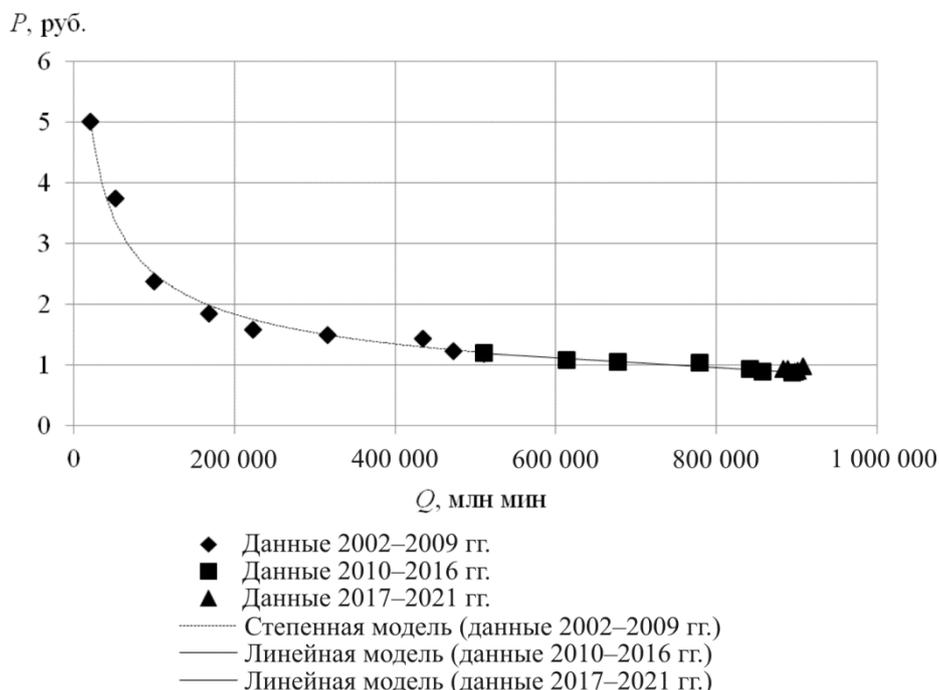


Рис. 4. Зависимость средневзвешенной цены от голосового трафика и регрессионные модели за 2002–2021 гг.

Таблица 5

Значения коэффициентов регрессионных моделей и статистические оценки параметров функции спроса

Период, гг.	Модель	Значение коэффициентов регрессионных моделей				Статистические оценки параметров функций спроса			
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>A</i>	α	R^2	число наблюдений	$F_{расч}$	$F_{крит}$
2002–2009	Степенная			442,63	-0,449	0,98	8	127	5,79
2010–2016	Линейная	1,6	-0,000001			0,945	7	34,4	6,94
2017–2021	Линейная	0,396	0,000001			0,027	5	0,04	19

Данные за 2017–2021 гг. детализированы на рис. 5 и не могут быть описаны с помощью линейной или степенной регрессионных моделей, на что указывает низкое значение коэффициента детерминации ($R^2 = 0,027$).

Однако период 2017–2021 гг. можно рассматривать как процесс перехода к новому возрастающему тренду цены голосового трафика. Это явление, известное в экономике как *эффект Гиффена*, объясняют следующие общеэкономические факторы:

- в 2015 г. наблюдалось падение ВВП России на 2 %, а в 2016–2018 гг. рынок начал восстанавливаться после кризиса, что привело к возрастанию цены голосового трафика;
- в свою очередь, рост цены обусловил коррекцию объемов проданных услуг в 2019 г., когда произошло падение спроса на эти услуги;
- затем в 2019–2021 гг. произошла адаптация потребителей услуг к возросшим ценам, что вновь привело к возрастающему тренду кривой спроса, хотя и с меньшим темпом относительно 2016–2018 гг.

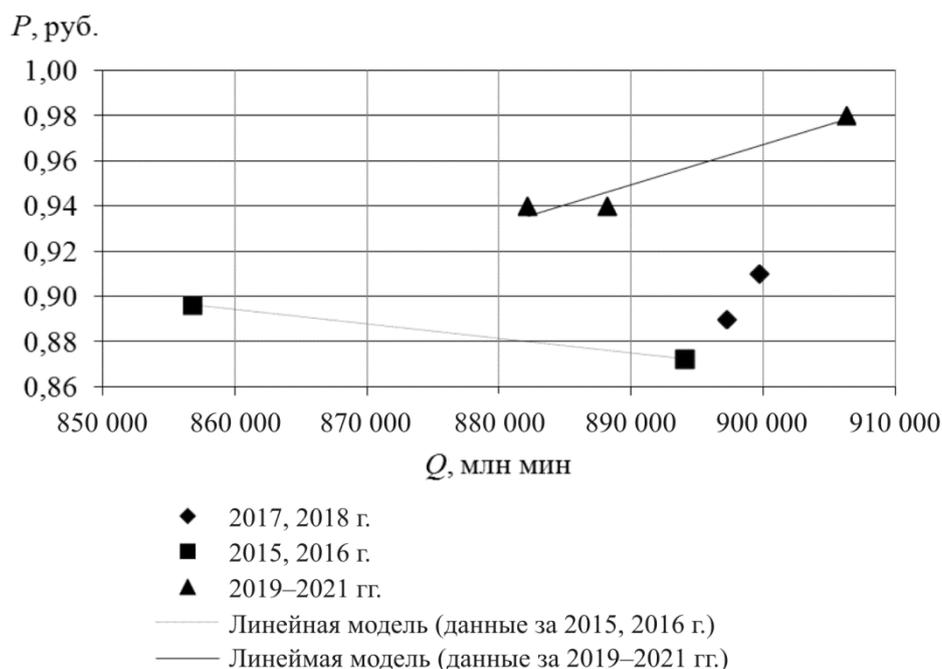


Рис. 5. Зависимость средневзвешенной цены от голосового трафика за 2015–2021 гг. (фрагмент)

4.2. Анализ функций издержек

Анализ рядов издержек мобильных операторов на голосовой трафик в зависимости от объемов услуг связи за 2002–2021 гг. (рис. 6) показал наличие не только линейных и степенных регрессионных моделей, как у функции спроса, но и квадратичных моделей.

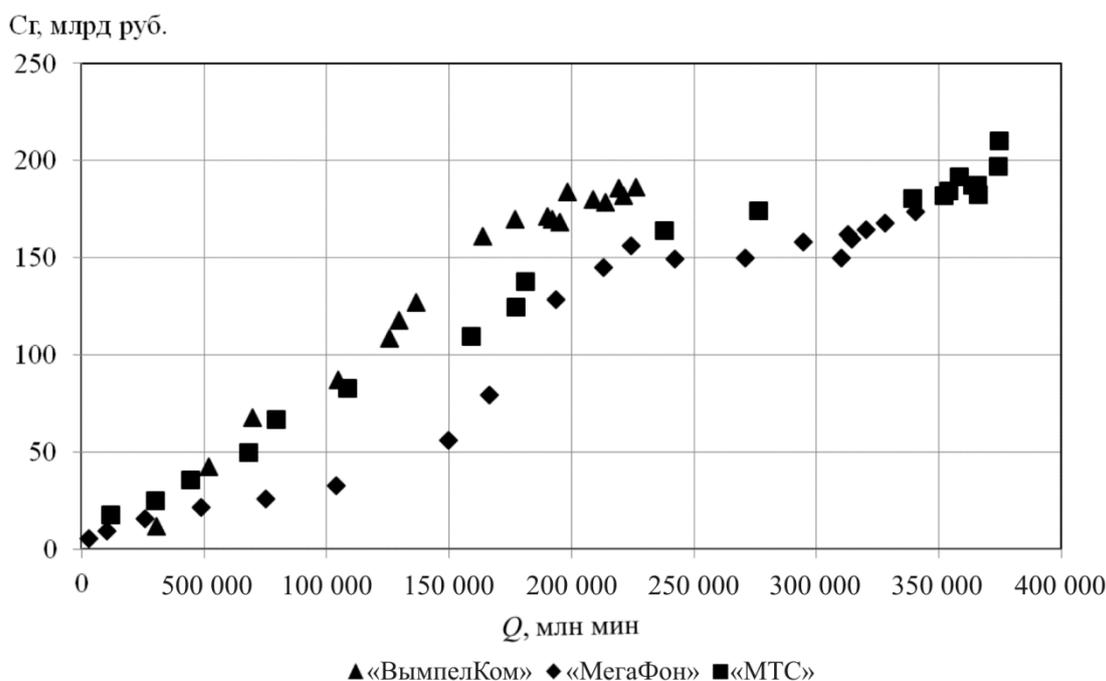


Рис. 6. Зависимость издержек по голосовой связи компаний от их объема голосового трафика

Анализ издержек компании «ВымпелКом». На рис. 7 представлены фактические данные издержек компании «ВымпелКом» и регрессионные модели, а значения коэффициен-

тов регрессионных моделей, полученных на основе МНК в Excel, и статистические оценки параметров функции издержек приведены в табл. 6.

Таблица 6

Значения коэффициентов регрессионных моделей и статистические оценки параметров функций издержек компании «ВымпелКом»

Период	Модель	Значение коэффициентов регрессионных моделей функций издержек			Статистические оценки параметров функции издержек			
		B_0	B_1	β	R^2	число наблюдений	$F_{рас}$	$F_{кр}$
2002–2009 гг.	Линейная	0	0,0009		0,98	8	116,55	5,79
2010–2015 гг.	Степенная	0	0,0148	0,77	0,91	6	15,093	9,55
2016–2021 гг.	Линейная	83,72	0,0004		0,94	6	21,612	9,55

В 2002–2009 и в 2016–2021 гг. более высокое значение коэффициента детерминации для линейной регрессии, по сравнению со степенной, показывает адекватность и точность линейной модели регрессии исследуемых фактических данных. В 2010–2015 гг. более высокие статистические оценки имеет степенная функция издержек компании «ВымпелКом».

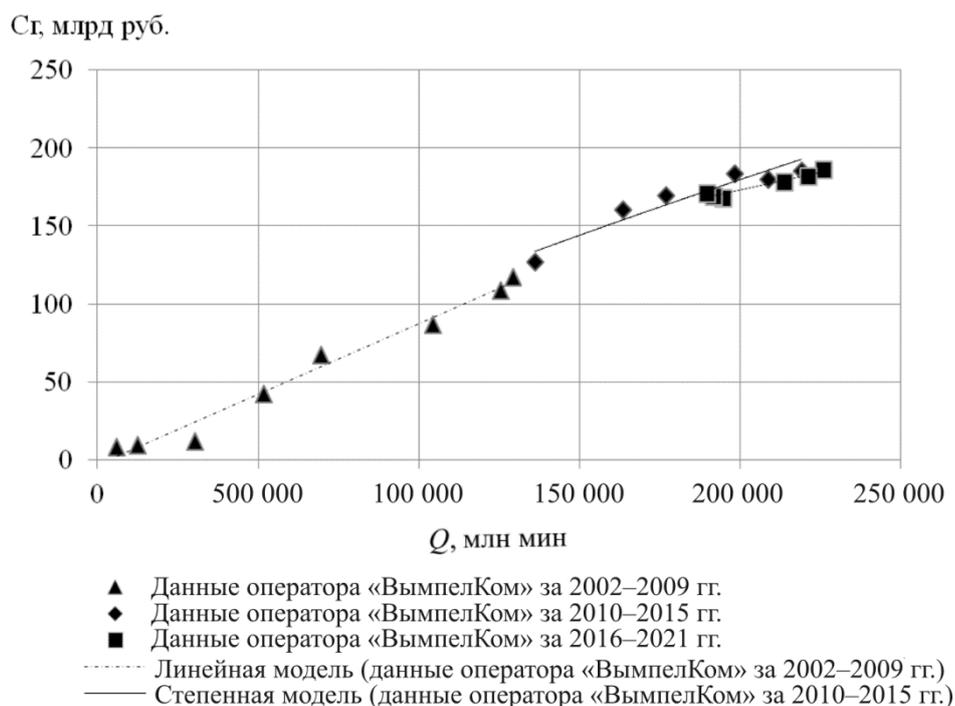


Рис. 7. Зависимость издержек от голосового трафика и регрессионные модели оператора «ВымпелКом» за 2002–2021 гг.

Следовательно, бизнес-процесс компании «ВымпелКом» характеризовался постоянной отдачей от расширения масштаба в 2002–2009 и в 2016–2021 гг. и соответствовал положительному эффекту расширения масштаба в 2010–2015 гг. Сопоставление этих трансформаций бизнес-процесса с динамикой рыночной доли оператора «ВымпелКом» обнаруживает следующие закономерности:

– в 2002–2009 гг. постоянная отдача от расширения масштаба вначале (в 2003–2007 гг.) совмещалась с увеличениями рыночной доли «ВымпелКом», однако в 2008–2009 гг. потенциал роста был исчерпан, и началось снижение;

- в 2010–2015 гг. положительный эффект расширения масштаба сопровождался некоторым ростом рыночной доли оператора, а затем стабилизацией этого показателя;
- в 2016–2021 гг. постоянная отдача от расширения масштаба коррелировала с процессом неуклонного снижения рыночной доли.

Анализ издержек компании «Мегафон». Проанализируем аналогичным образом функции издержек оператора «Мегафон». В табл. 7 представлены значения коэффициентов регрессионных моделей и статистические оценки параметров функций издержек компании «Мегафон». Квадратичная функция издержек не рассматривалась, так как коэффициент $B_2 < 0$, т.е. возможен диапазон убывания издержек.

Таблица 7

Значения коэффициентов регрессионных моделей и статистические оценки параметров функций издержек оператора «Мегафон»

Период	Модель	Значение коэффициентов регрессионных моделей функций издержек				Статистические оценки параметров функций издержек			
		B_0	B_1	B_2	β	R^2	число наблюдений	$F_{рас}$	$F_{кр}$
2002–2006 гг.	Степенная		0,1202		0,48	0,996	5	31,3	19
2002–2009 гг.	Квадратичная	9,29	0,000061	–0,000000002		0,97	8	78,1	5,79
2007–2012 гг.	Степенная		0,000000001		2,143	0,973	6	54,1	9,55
2010–2015 гг.	Квадратичная	134,2	0,00214	–0,000000004		0,72	6	3,84	9,55
2017–2021 гг.	Линейная	11,21	0,0005			0,965	5	27,6	19

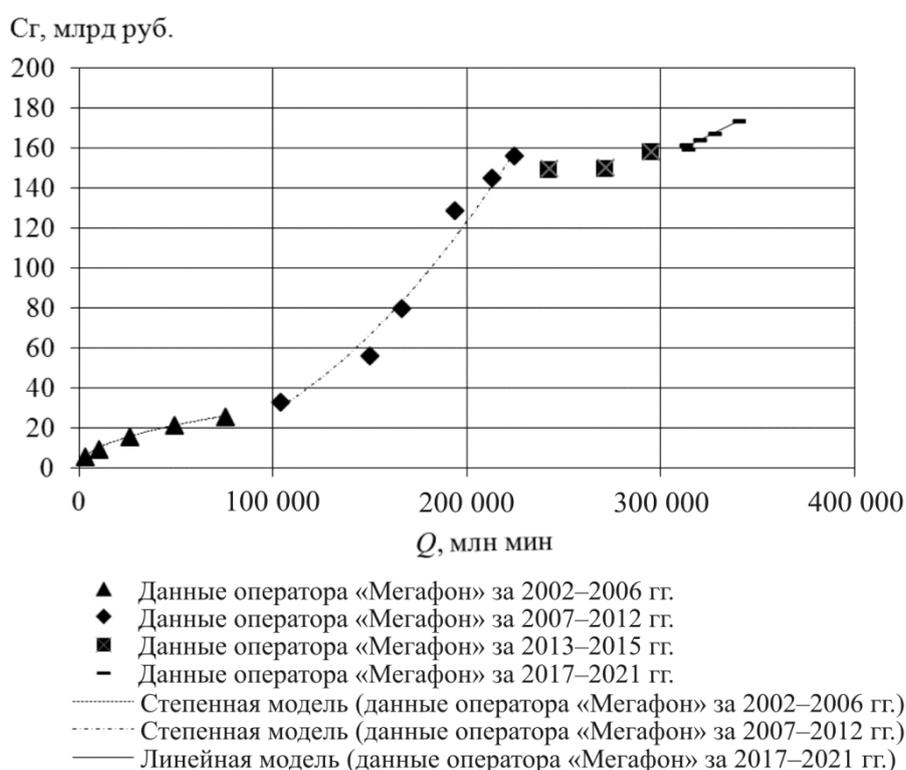


Рис. 8. Зависимость издержек от голосового трафика и регрессионные модели оператора «Мегафон» за 2002–2021 гг.

Бизнес-процесс компании «Мегафон» демонстрировал положительный эффект расширения масштаба в 2002–2006 гг., отрицательный эффект расширения масштаба в 2007–2012 гг., и постоянную отдачу от расширения масштаба в 2017–2021 гг., а в 2013–2015 гг. определенного тренда не выявлено. Влияние этих эффектов на динамику доли компании «Мегафон» на телекоммуникационном рынке (см. рис. 2) проявляется в следующих аспектах:

- в 2002–2006 гг. заметна корреляция положительного эффекта расширения масштаба с увеличением доли «Мегафон» на телекоммуникационном рынке;
- в 2007–2012 гг. наблюдалась связь отрицательного эффекта расширения масштаба и замедления роста и начала снижения доли этого оператора на рынке;
- в 2017–2021 гг. видна связь постоянной отдачи от масштаба и стабилизации с некоторым ростом доли оператора.

Анализ издержек компании «МТС». Подобно ранее рассмотренным, у компании «МТС» наблюдались степенная и линейная функции издержек (рис. 9). В табл. 8 представлены значения коэффициентов регрессионных моделей и статистические оценки параметров функций издержек компании «МТС». Квадратичная функция издержек не рассматривалась, так как коэффициент $B_2 < 0$, т.е. возможен диапазон убывания издержек. Отметим, что регрессионная модель по данным за 2017–2021 гг. не имеет достаточной статистической незначимости согласно критерию Фишера.

Таблица 8

Значения коэффициентов регрессионных моделей и статистические оценки параметров функций издержек компании «МТС»

Период	Модель	Значение коэффициентов регрессионных моделей функций издержек МТС				Статистические оценки параметров функций издержек МТС			
		B_0	B_1	B_2	β	R^2	число наблюдений	$F_{\text{рас}}$	$F_{\text{кр}}$
2002–2009 гг.	Линейная	8,64	0,007			0,992	8	318	5,79
2010–2015 гг.	Степенная		1,18		0,4	0,936	6	21,94	9,55
2010–2015 гг.	Квадратичная	–10,9	0,001	–0,000000002		0,995	6	287	9,55
2017–2021 гг.	Линейная	–487,7	0,0018			0,74	5	2,86	9,55

В период 2002–2009 гг. бизнес-процесс компании «МТС» проявлял постоянную отдачу от расширения масштаба, а в период 2010–2015 гг. наблюдался положительный эффект расширения масштаба. В 2017–2021 гг. наметился возрастающий тренд издержек, близкий к линейному (темп роста издержек в заключительный период значительно выше, чем в 2002–2009 гг.), а рыночная доля «МТС» стабилизировалась, однако данных в этот период недостаточно, чтобы сделать достоверное заключение. Анализируя взаимосвязь изменения эффектов расширения масштаба и рыночной доли «МТС» на телекоммуникационном рынке (см. рис. 2), отметим следующее:

- в 2002–2009 гг. постоянная отдача от расширения масштаба сопровождалась в основном сокращением рыночной доли компании «МТС»;
- в 2010–2015 гг. положительный эффект расширения масштаба коррелировал с ростом рыночной доли «МТС».

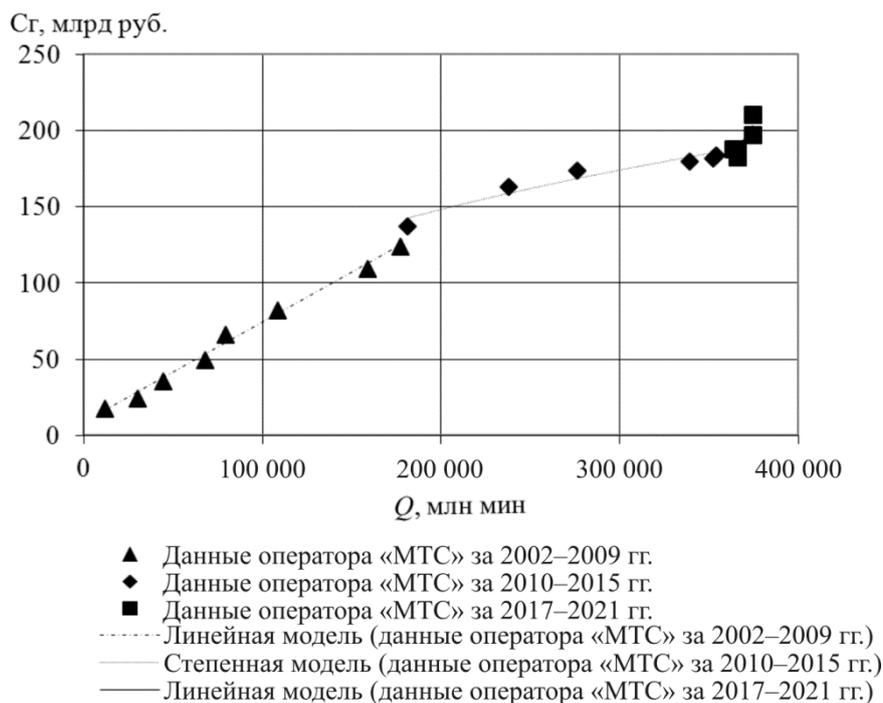


Рис. 9. Зависимость издержек от голосового трафика и регрессионные модели оператора «МТС» за 2002–2021 гг.

Заключение

Анализ динамики средневзвешенной цены голосового трафика и суммарного объема трафика операторов телекоммуникационного рынка России показал следующее изменение трендов. На начальном этапе развития рынка, в 2002–2009 гг., цена снижалась достаточно резко, что выражено степенной моделью обратной функции спроса с коэффициентом эластичности 0,45. За этот период объем трафика возрос в 23 раза. На следующем этапе, в 2010–2016 гг., снижение цены стало более плавным, реализуя линейную модель функции спроса с темпом снижения 0,000001 руб./млн мин. В течение второго периода объем трафика возрос в 1,9 раза. Третий этап в 2017–2021 гг., за который объем трафика увеличился на 1,3 %, продемонстрировал процесс перехода к возрастающему тренду цены голосового трафика, что выражает эффект Гиффена. Таким образом, степенной понижающийся тренд цен стимулировал интенсивный рост рынка, тогда как линейный понижающийся тренд способствовал плавному росту, а возрастающий тренд вызвал стагнацию.

Значение ценового тренда для развития телекоммуникационного рынка России подтверждает тесная связь с динамикой индекса Херфиндала – Хиршмана, поскольку коэффициент корреляции этих рядов составил 0,979, а корреляция ценового ряда с динамическими рядами издержек операторов отрицательная (от –0,75 для компании «Мегафон» до –0,83 для компании «ВымпелКом»). Следовательно, концентрация телекоммуникационного рынка главным образом определяет изменение рыночной цены услуги связи.

Анализ издержек операторов телекоммуникационного рынка России показал, что их возрастающие тренды адекватно моделируются на основе линейных и степенных функций.

Этапы развития операторов «ВымпелКом» и «МТС» имеют характерное подобие. На начальном этапе, в 2002–2009 гг., функции издержек этих операторов были линейными, т.е. бизнес-процессы операторов соответствовали постоянной отдаче от расширения масштаба. На следующем этапе, в 2010–2015 гг., динамика издержек операторов описывалась

степенными функциями с коэффициентом эластичности меньше единицы, т.е. для их бизнес-процессов отмечался положительный эффект расширения масштаба. На третьем этапе, в 2017–2021 гг., вновь адекватна линейная функция издержек, однако темп роста издержек оператора «ВымпелКом» уменьшился по сравнению с начальным этапом, а для оператора «МТС» этот показатель возрос. Сопоставление этих этапов с характером изменения рыночных позиций операторов «ВымпелКом» и «МТС» показывает, что в 2002–2009 гг. доля «ВымпелКом» возрастала, а доля «МТС» сокращалась, в 2010–2015 гг. доля «ВымпелКом» стабилизировалась, а доля «МТС» росла, в 2017–2021 гг. доля «ВымпелКом» уменьшалась, поскольку оператор снизил темп инвестиций, а доля «МТС» стабилизировалась, так как оператор увеличил темп роста инвестиций.

По-иному развивался бизнес-процесс оператора «Мегафон»: в 2002–2006 гг. отмечался положительный эффект расширения масштаба, и доля оператора на рынке росла, в 2007–2012 гг. наблюдался отрицательный эффект расширения масштаба, и доля рынка стабилизировалась или снижалась, в 2017–2021 гг. при постоянной отдаче от расширения масштаба доля рынка возрастала.

Следовательно, постоянная отдача от расширения масштаба может приводить как к росту, так и к сужению рыночной доли оператора, в зависимости от того, наращивает компания темпы инвестирования или сокращает. Положительный эффект расширения масштаба, как правило, обуславливает рост рыночной доли оператора, а отрицательный эффект приводит к сокращению рыночной доли.

Список литературы

1. Сеница С.А. Анализ тенденций развития глобального рынка телекоммуникационных услуг [Электронный ресурс] // Вестник Евразийской науки. – 2019. – Т. 11, № 1. – Art. 27ECVN119. – URL: <https://esj.today/PDF/27ECVN119.pdf> (дата обращения: 10.05.2023).
2. Агаркова Лилия. Бренд Теле 2 трансформируется в t2 [Электронный ресурс]. – URL: <https://svoedeloplus.ru/2022/09/26/brend-tele-2-transformiruetsya-v-t2/> (дата обращения: 10.05.2023).
3. Гераськин М.И., Чхартишвили А.Г. Моделирование структур рынка олигополии при нелинейных функциях спроса и издержек агентов // Проблемы управления. – 2015. – № 6. – С. 10–22.
4. Гераськин М.И. Моделирование рефлексии в нелинейной модели трехагентной олигополии Штакельберга для телекоммуникационного рынка России // Автоматика и телемеханика. – 2018. – № 5. – С. 83–106.
5. Бирюкова И.А., Гераськин М.И. Структурный анализ рынка олигополии на основе модели рефлексивной игры на примере телекоммуникационного рынка России // Актуальные проблемы экономики и права. – 2017. – Т. 11, № 4. – С. 66–81. DOI: 10.21202/1993-047X.11.2017.4.66-81
6. Бирюкова И.А., Гераськин М.И. Анализ рефлексивной игры агентов на телекоммуникационном рынке для случая двух рефлексивных агентов // Актуальные проблемы экономики и права. – 2018. – Т. 12, № 3. – С. 468–480. DOI: 10.21202/1993-047X.12.2018.3.468-480
7. Гераськин М.И., Зиновьева А.А. Теоретико-игровой анализ вариантов входа четвертого оператора на телекоммуникационный рынок России // Актуальные проблемы экономики и права. – 2020. – Т. 14, № 4. – С. 751–770. DOI: 10.21202/1993-047X.14.2020.4.751-770
8. Cournot Equilibrium in the Mobile Virtual Network Operator Oriented Oligopoly Offloading Market / F. Sun, B. Liu, F. Hou, L. Gui, J. Chen // Proceedings of 2016 IEEE Interna-

tional Conference on Communications (ICC), Kuala Lumpur, Malaysia, 22-27 May 2016. – 2016, IEEE. – P. 1–6. DOI 10.1109/ICC.2016.7511340.

9. Karmarkar U.S., Rajaram K. Aggregate Production Planning for Process Industries under Oligopolistic Competition // *European Journal of Operational Research*. – 2012. – № 223 (3). – P. 680–689.

10. Ledvina A., Sigar R. Oligopoly Games under Asymmetric Costs and an Application to Energy Production // *Mathematics for Economics and Finance*. – 2012. – № 6 (4). – P. 261–293.

11. Currarini S., Marini M.A. Sequential Play and Cartel Stability in Cournot Oligopoly // *Appl. Math. Scie.* – 2013. – № 7 (1-4). – P. 197–200.

12. Vasin A. Game-theoretic Study of Electricity Market Mechanisms // *Procedia Computer Science*. – 2014. – № 31. – P. 124–132.

13. Naimzada A.K., Sbragia L. Oligopoly Games with Nonlinear Demand and Cost Functions: Two Boundedly Rational Adjustment Processes // *Chaos, Solitons & Fractals* – 2006. – № 29 (3). – P. 707–722.

14. Askar S., Alnowibet K. Nonlinear Oligopolistic Game with Isoelastic Demand Function: Rationality and Local Monopolistic Approximation // *Chaos, Solitons & Fractals*. – 2016. – № 84. – P. 15–22.

15. Naimzada A., Tramontana F. Two Different Routes to Complex Dynamics in an Heterogeneous Triopoly Game // *Journal of Difference Equations and Applications*. – 2015. – № 21 (7). – P. 553–563.

16. Cavalli F., Naimzada A., Tramontana F. Nonlinear Dynamics and Global Analysis of a Heterogeneous Cournot Duopoly with a Local Monopolistic Approach Versus a Gradient Rule with Endogenous Reactivity // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. – 2015. – № 23 (1 3). – P. 245–262.

17. Гераськин М.И., Чхартишвили А.Г. Теоретико-игровые модели рынка олигополии с нелинейными функциями издержек агентов // *Автоматика и телемеханика*. – 2017. – № 9. – С. 106–130.

18. Cournot A.A. *Researches into the Mathematical Principles of the Theory of Wealth*. London: Hafner, 1960. – 186 p.

19. Уолтерс А.А. Производственные функции и функции затрат: эконометрический обзор // *Теория фирмы*. Т. 2. – СПб.: Экономическая школа. – 2000. – С. 160–204.

20. Булавский В.А., Калашников В.В. Равновесие в обобщенных моделях Курно и Штакельберга // *Экономика и математические методы*. – 1995. – Т. 31, вып. № 3. – С. 151–163.

21. Ghemawat P. Building Strategy on the Experience Curve // *Harvard Business Review*. – 1985. – Vol. 63 (2). – P. 143–149.

22. Годовые отчеты ПАО «ВымпелКом» [Электронный ресурс]. – URL: <https://moskva.beeline.ru/about/about-beeline/disclosure/annual-reports/> (дата обращения: 10.05.2023).

23. Годовые отчеты ПАО «Мегафон» [Электронный ресурс]. – URL: https://corp.megafon.ru/investoram/shareholder/year_report (дата обращения: 10.05.2023).

24. Годовые отчеты ПАО «МТС» [Электронный ресурс]. – URL: <https://moskva.mts.ru/about/investoram-i-akcioneram/korporativnoe-upravlenie/raskritie-informacii/godovaya-otchetnost> (дата обращения: 10.05.2023).

25. Определение терминов показателей- Приложение А [Электронный ресурс]. – URL: http://www.mforum.ru/sub/080312_VIP_MForum.pdf (дата обращения: 10.05.2023).

26. Бухгалтерская отчетность ПАО «Мобильные ТелеСистемы» за 2021 год [Электронный ресурс]. – URL: <https://e-ecolog.ru/buh/2021/7740000076> (дата обращения: 10.05.2023).

27. Бухгалтерская отчетность ПАО «Вымпел-Коммуникации» за 2021 год [Электронный ресурс]. – URL: <https://e-ecolog.ru/buh/2021/7713076301> (дата обращения: 10.05.2023).
28. Бухгалтерская отчетность ПАО «Мегафон» [Электронный ресурс]. – URL: <https://corp.megafon.ru/investoram/shareholder/msfo/> (дата обращения: 10.05.2023).
29. Елисеева И.И. Эконометрика. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 576 с.

References

1. Sinitza S.A. Analysis of trends in the global telecommunications services market. *The Eurasian Scientific Journal*, 2019, vol. 11, no. 1, art. 27ECVN119, available at: <https://esj.today/PDF/27ECVN119.pdf>
2. Agarkova L. Brend Tele 2 transformiruetsia v t2, available at: <https://svoedeloplus.ru/2022/09/26/brend-tele-2-transformiruetsya-v-t2/> (accessed 10.05.2023).
3. Geraskin M.I., Chkhartishvili A.G. Structural Modeling of Oligopoly Market under the Nonlinear Functions of Demand and Agents' Costs. *Automation Remote Control*, 2017, no. 78 (2), pp. 332–348.
4. Geraskin M.I. Modeling Reflexion in the Non-Linear Model of the Stakelberg Three-Agent Oligopoly for the Russian Telecommunication Market. *Automation and Remote Control*, 2018, no. 5, pp. 83–106.
5. Biryukova I.A., Geraskin M.I. Structural analysis of oligopoly market based on the reflective game model by the example of telecommunication market in Russia. *Actual Problems of Economics and Law*, 2017; vol. 11 no. 4, pp. 66–81. DOI: 10.21202/1993-047X.11.2017.4.66-81
6. Biryukova I.A., Geraskin M.I. Analysis of reflective game of agents in telecommunication market for a case of two reflective agents. *Actual Problems of Economics and Law*. 2018, vol. 12, no. 3, pp. 468–480. DOI: 10.21202/1993-047X.12.2018.3.468-480
7. Geraskin M.I., Zinovieva A.A. Theoretical-game analysis of the variants of the fourth operator entering the telecommunication market of Russia. *Actual Problems of Economics and Law*. 2020, vol. 14, no. 4, pp. 751–770. DOI: 10.21202/1993-047X.14.2020.4.751-770
8. Sun F., Liu B., Hou F., Gui L., Chen J. Cournot Equilibrium in the Mobile Virtual Network Operator Oriented Oligopoly Offloading Market. *2016 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2016, pp. 1-6, DOI: 10.1109/ICC.2016.7511340
9. Karmarkar U.S., Rajaram K. Aggregate Production Planning for Process Industries under Oligopolistic Competition. *European Journal of Operational Research*, 2012, vol. 223, iss. 3, pp. 680–689.
10. Ledvina A., Sigar R. Oligopoly Games under Asymmetric Costs and an Application to Energy Production. *Mathematics for Economics and Finance*, 2012, vol. 6, iss. 4, pp. 261–293.
11. Currarini S., Marini M.A. Sequential Play and Cartel Stability in Cournot Oligopoly. *Applied Mathematical Sciences*, 2013, vol. 7, no.4, pp. 197–200.
12. Vasin A. Game-theoretic Study of Electricity Market Mechanisms. *Procedia Computer Science*, 2014, no. 31, pp. 124–132.
13. Naimzada A.K., Sbragia L. Oligopoly Games with Nonlinear Demand and Cost Functions: Two Boundedly Rational Adjustment Processes. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2006, vol. 29, iss. 3, pp. 707–722.
14. Askar S., Alnowibet K. Nonlinear Oligopolistic Game with Isoelastic Demand Function: Rationality and Local Monopolistic Approximation. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2016, vol. 84, pp. 15–22.

15. Naimzada A., Tramontana F. Two Different Routes to Complex Dynamics in an Heterogeneous Triopoly Game. *Journal of Difference Equations and Applications*, 2015, vol. 21, iss. 7, pp. 553–563.
16. Cavalli F., Naimzada A., Tramontana F. Nonlinear Dynamics and Global Analysis of a Heterogeneous Cournot Duopoly with a Local Monopolistic Approach Versus a Gradient Rule with Endogenous Reactivity. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2015, vol. 23, iss. 1–3, pp. 245–262.
17. Geraskin M.I., Chkhartishvili, A.G. Game-theoretic models of an oligopoly market with nonlinear agent cost functions. *Automation and Remote Control*, 2017, vol. 78, iss. 9, pp. 1631–1650.
18. Cournot A.A. *Researches into the Mathematical Principles of the Theory of Wealth*. London, Hafner, 1960, 186 p.
19. Walters A.A. Production and Cost Functions: An Econometric Survey. *Econometrica*, 1963, vol. 31, no. 1/2, pp. 1–66.
20. Bulavsky V., Kalashnikov Viacheslav Equilibrium in generalized Cournot and Stackelberg models. *Economics and the Mathematical Methods*, 1995, vol. 31, iss. 3, pp. 151–163.
21. Ghemawat P. Building Strategy on the Experience Curve. *Harvard Business Review*. 1985, vol. 63, iss. 2, pp. 143–149.
22. Godovye otchety PAO «VypelKom», available at: <https://moskva.beeline.ru/about/about-beeline/disclosure/annual-reports/> (accessed 10 May 2023).
23. Godovye otchety PAO «Megafon», available at: https://corp.megafon.ru/investoram/shareholder/year_report (accessed 10 May 2023).
24. Godovye otchety PAO «MTS», available at: <https://moskva.mts.ru/about/investoram-akcioneram/korporativnoe-upravlenie/raskritie-informacii/godovaya-otchetnost> (accessed 10 May 2023).
25. Opredelenie terminov pokazatelei. Prilozhenie A, available at: http://www.mforum.ru/sub/080312_VIP_MForum.pdf (accessed 10 May 2023).
26. Bukhgalterskaia otchetnost' PAO «Mobil'nye TeleSistemy» za 2021 god, available at: <https://e-ecolog.ru/buh/2021/7740000076> (accessed 10 May 2023).
27. Bukhgalterskaia otchetnost' PAO «Vypel-Kommunikatsii» za 2021 god, available at: <https://e-ecolog.ru/buh/2021/7713076301> (accessed 10 May 2023).
28. Bukhgalterskaia otchetnost' PAO «Megafon», available at: <https://corp.megafon.ru/investoram/shareholder/msfo/> (accessed 10 May 2023).
29. Eliseeva I.I. *Ekonometrika*. Moscow, Finansy i statistika, 2007, 576 p.