

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ НА ОЛИГОПОЛИСТИЧЕСКОМ РЫНКЕ: СОХРАНЯЯ ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ*

М. И. Левин, Н. В. Шилова

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ*

М. Л. Фреер

*Лёвенский католический университет
Свободный университет Брюсселя*

Поступила в редакцию 1 ноября 2017 г.

Аннотация: инновационная политика, направленная на снижение потребления дефицитных или редких природных ресурсов, должна учитывать интересы фирм, использующих эти ресурсы в своей деятельности. Фирмы как максимизаторы собственного благосостояния (прибыли) имплементируют то или иное изменение, если оно будет нести им больше прибыли, чем его отсутствие. В данной работе представлена модель бесконечно повторяющейся конкуренции по Нэшу и показано, какую инновационную стратегию будет выбирать фирма в зависимости от таких параметров, как количество фирм на рынке, значение дисконтирующего фактора и др. Результаты моделирования интересны с практической точки зрения, поскольку предсказывают основные тренды инвестирования в достаточно распространенных ситуациях.

Ключевые слова: олигополия Курно, инновации, ресурсы и инновации, инвестиции в инновации

Abstract: innovative policies aimed at reducing the consumption of scarce or rare natural resources should take into account the interests of firms which use these resources in their activities. Firms as maximizers of their own well-being (profits) implement this or that change as soon as this change brings them more profit than the absence of such a change. In this paper we present a model of an infinite Nash competition and show which innovation strategy the firm chooses depending on such parameters as the number of firms on the market, the value of the discount factor, etc. The results of modeling are interesting from a practical point of view, since they predict the main trends of investments in fairly common situations.

Key words: cournot oligopoly, innovations, resources and innovations, investments in innovations.

Рост современной экономики в значительной степени требует потребления природных ресурсов, многие из которых являются невозпроизводимыми. Эти природные ресурсы, как правило, являются ограниченными, по крайней мере в краткосрочном периоде, и потому при их возрастающем потреблении возникает усиливающийся дефицит [1; 2], который в значительной степени влияет на развитие экономики.

Ограничение факторов, влияющее на экономический рост, часто включается в модели макроэко-

номического типа, например модель Солоу, модель Ромера и др. Одним из способов преодоления возникающего дефицита факторов, в том числе природных ресурсов, является изменение технологии производства или количества и качества производимых продуктов за счет технологических изменений, или инноваций [3; 4].

Моделирование инновационных процессов, направленных на преодоление дефицита природных ресурсов, призвано выделить особенности конкретного вида инноваций, которые смогут заменить или сократить потребность в природном ресурсе.

В фокусе нашего внимания – модель олигополистического рынка. Это сделано по двум причинам: в-первых, в условиях совершенной конкуренции у

* Работа выполнена в рамках гранта РАНХиГС «Исследование экономических моделей инноваций, направленных на преодоление дефицита природных ресурсов».

© Левин М. И., Шилова Н. В., Фреер М. Л., 2017

фирм нет или почти нет собственных ресурсов для внедрения инноваций, и им необходима поддержка извне – возможность взять кредит и т.п. В таком случае можно говорить, что со стороны инвестора риски невозврата кредита и банкротства инноватора закладываются в оценку инновационного проекта, а структура рынка инвесторов обычно стремится скорее к олигополистической, нежели к совершенно конкурентной. Во-вторых, многие рынки природных ресурсов также характеризуются олигополистической структурой. Это относится, например, к такому важному для России рынку, как рынок нефти и газа. Именно поэтому одной из ключевых работ в этой области стала статья Г. Лоури «Теория нефтяной олигополии: равновесие Курно на рынках истощаемых ресурсов с фиксированными поставками» [5]. Однако Г. Лоури в своей работе концентрировался в основном на сравнении общественных потерь в случае разного количества фирм.

Следующей важной работой в этом направлении была работа С. Поласки «Действительно ли производители нефти олигополисты?» [6]. За основу была взята модель Г. Лоури, однако С. Поласки также рассмотрел случаи однородности и неоднородности функций издержек олигополистов и случай роста издержек по мере увеличения показателя кумулятивной добычи нефти. Кроме достаточно очевидного вывода о том, что с ростом издержек добычи ресурсов темпы добычи замедляются, С. Поласки показал, что при этом фирмы, обладающие большими запасами ресурса, имеют, как правило, более низкие предельные издержки. Однако вопросы внедрения инноваций в этой работе отдельно не обсуждались. Более широкий подход к этим вопросам позже был предложен в работе Cornes и Itaya [7].

Другое полезное в целях нашего исследования направление представляют статьи Cornes и Hartley [8–10]. В них исследуются основные сравнительные статические свойства равновесия Курно: вопросы существования, единственности и устойчивости олигополистических равновесий. Используемый ими подход полезен как раз при изучении олигополий с гетерогенными функциями издержек.

В представленной ниже работе будет принята попытка смоделировать ситуацию, в которой возможны как минимум два варианта направления инвестирования в инновации, и фирма выбирает, какому сценарию следовать. Модель достаточно проста, но дает интересные практические результаты.

1. Модель

Предположим, что на рынке есть $j \in \{1, \dots, N\}$ фирм, которые конкурируют по Курно в бесконечно повторяющейся игре, и пусть издержки каждой из них описываются как $c_j q_{j,t}$. Функцию спроса возьмем линейную, пусть ее вид для простоты будет таким: $P(Q) = A - PQ$, где $Q = \sum_j q_j$. Пусть также у каждой фирмы есть «запас ресурса» S_j . Обозначим через δ фактор дисконтирования (вероятность продолжения игры), тогда ожидаемая прибыль каждой из фирм в начальном периоде выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \pi_j = \sum_t \delta^t (P(Q_t) - c_j q_{j,t}) \\ \sum_t q_{j,t} \leq S_j \end{cases}$$

В начальном периоде в нашей модели будет фирма, которая может войти на рынок с издержками $c_{j,i}$, при этом она сможет инвестировать в один из обозначенных ниже двух видов инноваций.

Инновации, снижающие издержки

В этом случае фирма обязана заплатить I_c в начале игры и с вероятностью p_c ее издержки снизятся до c_i^* ; в обратном случае издержки останутся равными начальному значению. Тогда ее ожидаемая прибыль в начальном периоде будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} \pi_i = p_c \sum_t \delta^t (P(Q_t) - c_i^* q_{i,t}^c) + \\ + (1 - p_c) \sum_t \delta^t (P(Q_t) - c_i q_{i,t}) - I_c \\ \sum_t q_{i,t} \leq S_i \\ \sum_t q_{i,t}^c \leq S_i \end{cases}$$

Отметим, что в данном случае есть две переменные – одна для случая, когда инвестиции будут удачными, и фирма будет оптимизировать прибыль при сниженных издержках, в обратном случае издержки не меняются. Ограничение на запас ресурса остается тем же в обоих случаях.

Инновации в альтернативный (возобновляемый) источник ресурсов

В этом случае фирма платит I_s и с вероятностью p_s вместо постоянного запаса S_i у фирмы появляется бесконечный запас. Тогда ожидаемая полезность в начальном периоде будет выглядеть следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \pi_i = p_s \sum_t \delta^t (P(Q_t) - c_i q_{i,t}^s) + \\ + (1 - p_s) \sum_t \delta^t (P(Q_t) - c_i q_{i,t}) - I_s . \\ \sum_t q_{i,t} \leq S_i \end{array} \right.$$

В данном случае ограничение на запас ресурсов присутствует только в случае, если инвестиции не будут удачными. Отметим, что поскольку в данном случае фирма будет единственной, которая будет находиться на рынке после определенного момента времени (потому что запасы всех остальных фирм истощатся), в долгосрочном периоде она начнет извлекать монополистическую прибыль.

Если мы обозначим через $\hat{\pi}_i^0$ прибыль, которую получит фирма без учета инвестиций, а через $\hat{\pi}_i^c$ – прибыль, которую фирма получит в случае (1), и через $\hat{\pi}_i^s$ – прибыль, которую фирма получит в случае инвестиций в расширение запаса природных ресурсов (случай (2)), то теперь для того чтобы понять, какую из стратегий выберет фирма, нужно сравнить прибыли – фирма выберет ту стратегию, которой соответствует максимальное значение прибыли.

2. Предположения

Сделаем следующие предположения.

1) *Стационарные стратегии.* Поскольку игра является бесконечно повторяющейся, то, чтобы избежать получения бесконечного количества равновесий, рассмотрим стационарные стратегии, которые не могут зависеть от истории игры – как от действий других фирм, так и самой фирмы в любом из предыдущих периодов. Более того, мы бы хотели рассмотреть простейший случай, в котором невозможен сговор между фирмами. К тому же рассмотрение стационарных стратегий обеспечивает то, что выпуск фирмы не будет зависеть от периода, если ограничение не является активным (это также обусловлено тем, что мы рассматриваем совершенное в подыграх равновесие).

2) Пусть также $p_c > p_s$ и $I_c > I_s$. Данное предположение нам нужно для того, чтобы успех инвестиции в альтернативные источники ресурса был более рискованным за счет более низкой вероятности успеха и необходимости более высокого объема вложений.

3) *Инновационные барьеры.* Ограничимся случаем, в котором только одна фирма может инвестировать в инновации; это также поможет избежать возможности множественных равновесий.

3. Результаты

Для простоты предположим, что $S_j > S_k$ для любых двух фирм. Если это не так, то мы получили бы больше обозначений, но качественно результат не изменился бы. Другое предположение, которое мы делаем в данном случае, состоит в том, что источник запаса ресурса будет общим для всех фирм. Сначала найдем оптимальный выпуск для случая, когда фирма не будет инвестировать в инновации. Из решения задач олигополии Курно в каждом периоде легко получить, что

$$\hat{q}_i = \frac{A - c}{B(n + 1)}.$$

Тогда прибыль в каждом периоде равна:

$$\pi_{i,t} = \frac{(A - c)^2}{B(n + 1)^2}.$$

Введем новое обозначение. Пусть $k = \left\lfloor \frac{S}{\hat{Q}} \right\rfloor + 1$,

где $\lfloor \cdot \rfloor$ обозначает целую часть числа, тогда:

$$\pi_i \leq \frac{\pi_{i,t} (1 - \delta^k)}{1 - \delta}.$$

Теперь рассмотрим случай для инвестиций в снижение издержек; тогда оптимальный выпуск для фирмы будет равен:

$$\hat{q}_i^c = \frac{A}{B(n + 1)} + \frac{n(\bar{c} - c^*) - c^*}{B(n + 1)},$$

где \bar{c} обозначает средние издержки по всем фирмам.

Отсюда можно найти прибыль в каждый момент времени, она равна:

$$\pi_{i,t}^c = \left(\frac{A}{n + 1} - \frac{n(\bar{c} - c^*) - c^*}{n + 1} \right) \left(\frac{A}{B(n + 1)} + \frac{n(\bar{c} - c^*) - c^*}{B(n + 1)} \right).$$

Введя обозначение $k^c = \left\lfloor \frac{S}{\hat{Q}^c} \right\rfloor$, перепишем условие выбора прибыли (стратегии):

$$\pi_i \geq \frac{\pi_{i,t}^c (1 - \delta^{k^c})}{1 - \delta} p_c + (1 - p_c) \frac{\pi_{i,t} (1 - \delta^k)}{1 - \delta} - I_c.$$

Легко показать, что фирма выберет инвестиции в снижение издержек, если выполнится условие:

$$\frac{I_c}{p_c} \leq \frac{\pi_{i,t}^c (1 - \delta^{k^c})}{1 - \delta} - \frac{\pi_{i,t} (1 - \delta^k)}{1 - \delta}.$$

Теперь рассмотрим третий случай: когда у фирмы есть возможность инвестировать в альтернативные источники ресурса. В этом случае, после того как истощатся ресурсы у всех остальных фирм, она

останется монополистом на рынке и будет извлекать соответствующую прибыль. Она выберет такую стратегию, если выполнится условие:

$$\pi_i^s \geq \frac{\pi_{i,t}(1-\delta^k)}{1-\delta} + \frac{\pi_{i,t}^m \delta^{k+1}}{1-\delta} p_s - I_s,$$

где $\pi_{i,t}^m = \frac{(A-A)^2}{4B}$.

Тогда мы легко можем ограничить максимальные издержки на данный тип инвестиций:

$$\frac{I_s}{p_s} \leq \frac{\pi_{i,t}^m \delta^{k+1}}{1-\delta}.$$

Далее мы будем употреблять выражения «более/менее вероятен», обсуждая тот или иной тип инвестиций, когда он будет соответствовать большему или меньшему значению $\frac{I_{cls}}{P_{cls}}$.

Утверждение 1. Чем меньше S (запасы ресурса), тем с большей вероятностью фирма будет инвестировать в альтернативные источники ресурса.

Данное утверждение напрямую следует из того, что чем меньше запасы ресурса, тем меньше будет k , а значит, тем больше будет значение выражения $\frac{\pi_{i,t}^m \delta^{k+1}}{1-\delta} p_s$ при прочих равных.

Утверждение 2. Чем больше фактор дисконтирования, тем с большей вероятностью фирма будет инвестировать в альтернативные источники ресурса и тем с меньшей вероятностью – в снижение издержек.

Данное утверждение также напрямую следует из того, что $\frac{\pi_{i,t}^m \delta^{k+1}}{1-\delta} p_s$ будет расти с увеличением фактора дисконтирования при прочих равных. Чтобы доказать вторую часть утверждения, отметим, что общий выпуск выше в случае, когда фирма инвестирует в снижение издержек.

Рисунок 1 иллюстрирует этот результат для различных значений $s - s^*$; чем больше эта разность, тем больше будет и различие в уровнях выпуска. Таким образом, получаем, что $k_c < k$. Тогда мы можем переписать ограничение на объем инвестиций, как:

$$\frac{I_c}{p_c} \leq \frac{(\pi_{i,t}^c - \pi_{i,t})(1-\delta^{k_c})}{1-\delta} - \sum_{t=k_c}^k \pi_{i,t} \delta^t.$$

Правая часть данного выражения будет положительной за счет того, что прибыль растет при снижении издержек фирмы. Тогда чем больше фактор дисконтирования, тем больше будет $\sum_{t=k_c}^k \pi_{i,t} \delta^t$, т. е. тем меньше будет $\frac{I_c}{p_c}$.

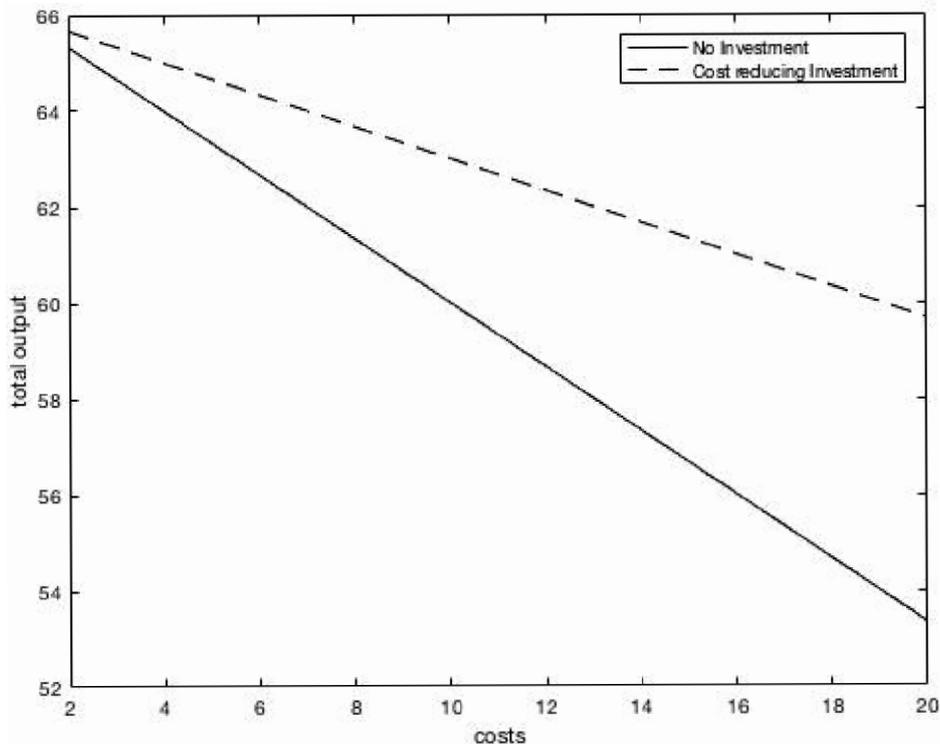


Рис. 1. Общий выпуск для разных уровней разности между издержками без инвестиций и сниженными издержками в результате инвестиций

Утверждение 3. Чем больше фирм на рынке, тем с большей вероятностью фирма будет инвестировать в альтернативные источники ресурса.

Первая часть Утверждения 3 напрямую будет следовать из того, что $\hat{Q} = \frac{n}{n+1} \frac{A-c}{B}$ возрастает по n , т. е. из результата Утверждения 1.

Рисунок 2 иллюстрирует зависимость общего выпуска от количества фирм на рынке и показывает, что чем больше фирм, тем выше будет общий вы-

пуск, а значит, k будет снижаться за счет этого (при прочих равных условиях), а значение выражения $\frac{\pi_{i,t}^m \delta^{k+1}}{1-\delta}$ будет расти. Отметим, что, тем не менее, никаких утверждений в общем виде относительно инвестиций в снижение издержек мы сделать не можем, поскольку такая зависимость не была бы монотонной относительно количества фирм.

Рисунок 3 иллюстрирует вышесказанное. Во-первых, отметим, что при небольшой разнице издержек

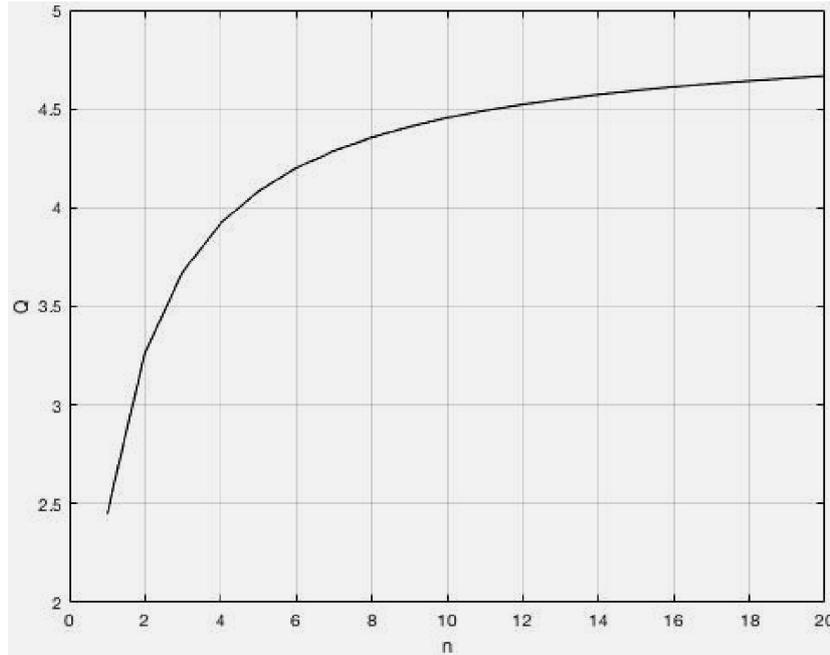


Рис. 2. Общий выпуск в зависимости от количества фирм

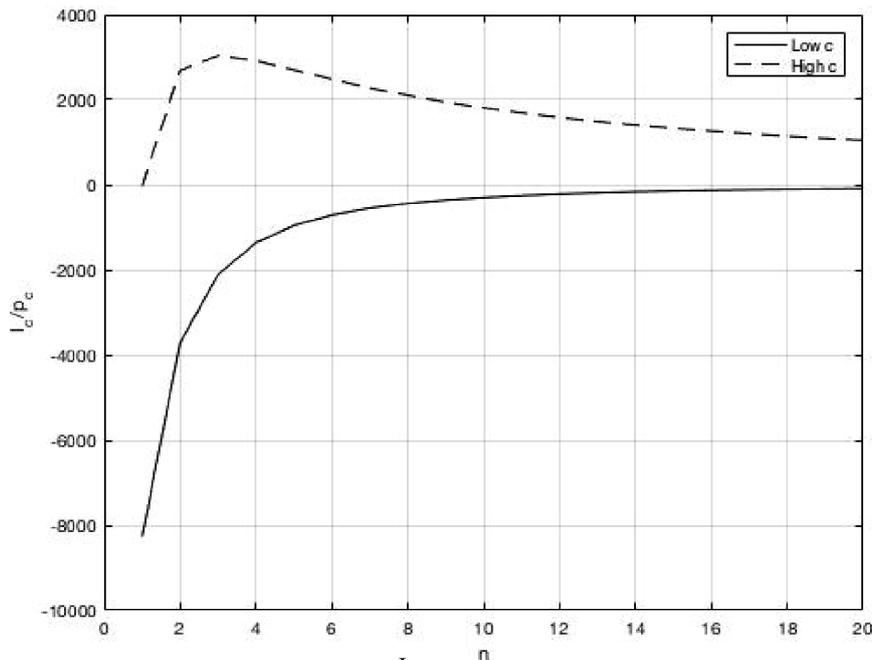


Рис. 3. Минимальное соотношение $\frac{I_c}{P_c}$, при котором фирма будет инвестировать в снижение издержек в зависимости от количества фирм

мы наблюдаем рост максимально допустимого объема инвестиций, в то время как при достаточно высоком уровне издержек и при $n > 3$ он будет снижаться. Во-вторых, если размер издержек достаточно высок, легко заметить, что значение функции растет при $n \leq 3$ и снижается с дальнейшим ростом количества фирм. Однако, как можно видеть на рис. 3, вне зависимости от исходных параметров издержек при достаточно большом количестве фирм прибыльность инвестиций в снижение издержек сведется к нулю. Чтобы это проверить, достаточно взять предел $\pi_{i,t}^c$ при $n \rightarrow \infty$. Удостоверившись, что он сводится к отрицательному числу, получаем, что при достаточно большом количестве конкурентов фирма предпочтет либо инвестировать в альтернативные источники ресурса, либо отказаться от инвестиций вовсе.

Утверждение 4. *Чем выше предельные издержки (при прочих равных), тем с меньшей вероятностью фирма будет инвестировать в альтернативные источники ресурса.*

Это следует из того, что и монополистическая прибыль ($\pi_{i,t}^m$), и общий выпуск (\hat{Q}) будут снижаться с ростом издержек, что приведет к росту k – количества периодов, в течение которых фирма не вынуждена конкурировать, а следовательно, – к снижению доходности от инвестиций в альтернативные источники ресурса $\frac{\pi_{i,t}^m \delta^{k+1}}{1-\delta}$. Как и в предыдущем случае, здесь также нельзя получить однозначный результат относительно доходности инвестиций в снижение издержек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шилова Н. В. Дефицитность природных ресурсов и инновационные процессы : случай Израиля / Н. В. Шилова // Финансы и бизнес. – 2010. – № 4. – С. 151–162.
2. Шилова Н. В. Инновационные процессы в преодолении дефицита природного ресурса / Н. В. Шилова // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Экономика и управление. – 2010. – № 2. – С. 28–32.
3. Левин М. И. Управление инновациями с учетом рекламы и комплементарности общественного и частного уровней технологий / М. И. Левин // Экономическая политика. – 2015. – Т. 10, № 6. – С. 109–132.
4. Shilova N. The Economic System of the Shortage of Natural Resources and Innovation : препринты / N. Shilova, M. Levin // Social Science Research Network. Серия SSRN Working Paper Series. 2013.
5. Loury G. C. A theory of 'oil'igopoly: Cournot equilibrium in exhaustible resource markets with fixed supplies /

Итак, мы построили и проанализировали модель олигополистической конкуренции с возможностью инвестиций в снижение издержек и поиски альтернативных источников ресурса. Одним из наиболее интуитивных результатов является то, что с ростом фактора дисконтирования инвестиции в снижение издержек будут становиться менее прибыльными, но и инвестиции в альтернативный источник ресурсов будут снижаться. Этот результат может служить обоснованием того, что инвестиции (к примеру, в альтернативные источники энергии) в большей степени приходится на развитые страны, поскольку за счет институциональных особенностей мы можем предположить, что фактор дисконтирования для них будет выше.

Интересным результатом является и то, что конкуренция оказалась способствующей инвестициям в поиске альтернативных источников ресурса. Данный результат основан на том, что подобные инвестиции позволяют фирме «пережить» своих конкурентов и захватить рынок после того, как они исчерпают ресурсы.

Также отметим, что прибыльность от инвестиций в альтернативные источники ресурса снижается при повышении предельных издержек. Это связано с тем, что чем выше предельные издержки производства из исходного ресурса, тем медленнее он будет исчерпываться. За счет этого у фирмы будет большое количество конкурентов на рынке в течение более длительного периода, что снизит остаточную прибыль.

G. C. Loury // International Economic Review. – 1986. – С. 285–301.

6. Polasky S. Do oil producers act as 'oil'igopolists? // Journal of Environmental Economics and Management. – 1992. – Т. 23, № 3. – С. 216–247.

7. Cornes R. U. N. I. On the private provision of two or more public goods / R. Cornes, J. Itaya // Journal of Public Economic Theory. – 2010. – Т. 12, № 2. – С. 363–385.

8. Cornes R. Asymmetric contests with general technologies / R. Cornes, R. Hartley // Economic theory. – 2005. – Т. 26, № 4. – С. 923–946.

9. Cornes R. Aggregative public good games / R. Cornes, R. Hartley // Journal of Public Economic Theory. – 2007. – Т. 9, № 2. – С. 201–219.

10. Cornes R. Risk aversion in symmetric and asymmetric contests / R. Cornes, R. Hartley // Economic Theory. – 2012. – Т. 51. – № 2. – С. 247–275.

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ

Левин М. И., доктор экономических наук, ординарный профессор НИУ ВШЭ, заведующий кафедрой микроэкономики факультета экономики РАНХ и ГС при Президенте РФ

Тел.: 8 (495) 628-83-68

E-mail: mlevin05@gmail.com

Шилова Н. В., кандидат экономических наук, доцент кафедры микроэкономики РАНХ и ГС при Президенте РФ, старший преподаватель факультета экономических наук НИУ ВШЭ

E-mail: nshilova@hse.ru

Лёвенский католический университет

Свободный университет Брюсселя

Фреер М. Л., кандидат экономических наук, научный сотрудник, Факультет Экономики и Бизнеса, Лёвенский католический университет, постдоктор, ECARES, Свободный университет Брюсселя

National Research University Higher School of Economics

Russian Academy of National Economy and Public Administration

Levin M. I., Dr. Habil. in Economics, Professor of the National Research University Higher School of Economics, Head of the Microeconomics Department of the Economical Faculty of Russian Academy of National Economy and Public Administration

E-mail: mlevin05@gmail.com

Tel.: 8 (495) 628-83-68

Shilova N. V., PhD in Economics, Associate Professor of the Microeconomics Department of the Economical Faculty of Russian Academy of National Economy and Public Administration, Senior Lecturer of the Economical Faculty of the National Research University Higher School of Economics

E-mail: nshilova@hse.ru

Katholic University Leuven

Universite Libre de Bruxelles

Freher M., PhD in Economics, Research Associate, Department of Economics, University of Leuven (KU Leuven), Postdoctoral Fellow, ECARES, Université Libre de Bruxelles