

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКЛИКА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ШОКИ В МНОГОСЕКТОРНОЙ МОДЕЛИ НЕСОВЕРШЕННОЙ КОНКУРЕНЦИИ

А.В. Леонидов, Е.Е. Серебрянникова

Представлен анализ последствий воздействия технологических шоков на экономическую систему в рамках описанной ранее динамической многосекторной модели с несовершенной конкуренцией. Показано, что отличительная особенность модели состоит в асимметрии откликов системы на негативные и положительные шоки. А именно, экономический спад, следующий за отрицательным шоком, оказывается больше в абсолютном выражении, чем подъем после положительного шока той же амплитуды. Показано, что воздействие шоков такого рода приводит к изменению структуры сети «затраты — выпуск».

Ключевые слова: шок, сеть «затраты — выпуск», агентная модель, компьютерная симуляция.

ВВЕДЕНИЕ

Гетерогенность отдельных элементов и их связанность, обусловленная экономическими взаимодействиями, — неотъемлемые характеристики такой сложной системы, как современная экономика. В частности, гетерогенность свойств экономических агентов проявляется в разнообразии отраслей, составляющих экономическую систему. Выполняя принципиально разные функции, фирмы, относящиеся к различным секторам экономики, связаны между собой производственными цепочками. В математических терминах совокупность таких производственных цепочек, реализующих экономические взаимодействия между фирмами, относящимися к различным секторам экономики, образует сетевую структуру, характеризующуюся взвешенным ориентированным графом. Учет такой порожденной многосекторностью структуры, характеризующей одновременно гетерогенностью и наличием экономических взаимодействий, крайне важен для описания фундаментальных свойств рассматриваемой макроэкономической системы. В частности, можно ожидать нетривиальных сетевых эффектов при рассмотрении последствий секторальных шоков. Так, основная цель данной работы заключается в том, чтобы показать, что одновременный учет многосекторности экономики и присутствия элементов несовершенной конкуренции приводит к возникновению ряда интересных последствий воздействия шоков совокупной факторной производительности отдельных секторов. Из данного обстоятельства

прямо следует, что однопродуктовые модели, построенные на предпосылке присутствия совершенной конкуренции, могут упускать ряд важных особенностей функционирования экономической системы.

Первое описание свойств многосекторной экономики с помощью матриц «затраты — выпуск» восходит к работам Василия Леонтьева [1], давшим начало направлению моделирования межотраслевого взаимодействия. Модели такого рода (см., например, работы [2—5]) были популярны в 1960—1970-е гг., когда они применялись для решения конкретных прикладных задач анализа и управления развитием экономики. Эволюция экономик середины 1980-х гг. привела к существенному усложнению межотраслевых связей, что стало одной из причин перехода к однопродуктовым моделям, единственный производимый продукт в которых трактуется как весь объем ВВП. В поддержку этой точки зрения обычно приводится два основных аргумента. Прежде всего, широко известен аргумент о диверсификации шоков в экономике, состоящей из большого числа независимых и однородных фирм [6], вследствие чего флуктуации агрегированного выпуска для экономики большого размера параметрически малы¹. Другой

¹ Под параметрической малостью понимается стремление к нулю со скоростью, пропорциональной $1/\sqrt{N}$ отношения среднеквадратичного отклонения суммарного выпуска N независимых одинаковых фирм (секторов) к его среднему. Данное утверждение является следствием центральной предельной теоремы.

аргумент — интерпретация доказанного в работе [7] утверждения о том, что вклад шоков фирмы в волатильность совокупного выпуска определяется только размером ее выручки как утверждения об ее независимости от положения фирмы в цепочке поставок.

Однако кризисные события, начавшиеся в 2007 г., и последующий за этим новый виток изменений в мировой экономике выявили явления, которые могут быть описаны только посредством анализа взаимодействия разных отраслей. В этом контексте особенно интересны работы, в которых описываются эффекты возникновения самоорганизованной критичности в многосекторной экономике со связями специальной структуры [8, 9]. Однако важно, что в реальной экономике топология связей между секторами экономики отличается от стилизованной топологии, описанной в работах [8, 9], и, следовательно, большой интерес представляет изучение моделей, описывающих динамику многосекторной экономики на сети «затраты — выпуск» с реалистичной топологией. Современный подход к решению этой задачи описан в работах [10—14]. «Фундаментом» для данных моделей выступили многосекторные модели реального делового цикла [15—17]. Важно, что хотя ключевым объектом, описывающим взаимодействие между отраслями, в данных моделях и служит матрица «затраты — выпуск», модели такого рода не представляют собой продолжение леонтьевской традиции применения межотраслевых балансов. Принципиальное их отличие состоит в том, что производство отраслей описывается нелинейными производственными функциями, аргументами которых в том числе являются продукты, произведенные другими отраслями. Из этого прямо следует возможность замещения одних продуктов другими, отсутствующая в моделях межотраслевого баланса с леонтьевскими производственными функциями. Одна из задач состояла в том, чтобы с помощью моделей [15—17] показать, что в реальности фирмы связаны образующими сетевую структуру цепочками поставок; это не позволяет считать их независимыми и, как следствие, буквальное применение центральной предельной теоремы не представляется возможным. Кроме того, как показано в работе [18], даже в предположении о независимости фирм аргумент о наличии диверсификации вследствие параметрической малости флуктуаций не работает, если распределение размеров фирм имеет «тяжелые хвосты». Помимо этого, интерпретация результатов работы [7] в форме аргумента о независимости размера отклика от положения фирмы в цепочке поставок, вообще говоря, не является корректной, поскольку положение фирмы/сектора в производственной сетевой структуре существенно влияет на размер ее выпус-

ка [12, 13] и, следовательно, на размер отклика системы на технологические шоки. Кроме того, общность выводов, представленных в работе [7], может быть поставлена под сомнение вследствие использованного в ней лог-линеаризованного приближения, которое является точным только для производственной функции Кобба — Дугласа [19]. Как показано в работе [19], учет вкладов более высокого порядка в модели с производственными функциями CES приводит к существенному изменению результатов, полученных в лог-линеаризованном приближении. Вследствие этого, дальнейшее изучение влияния шоков отдельных секторов на агрегированные показатели в многосекторных макроэкономических моделях представляет существенный интерес.

Взаимосвязь секторов экономики вследствие вовлеченности фирм в производственные цепочки описывается взвешенным ориентированным графом «затраты — выпуск». Узлами этого графа служат отрасли экономических систем, наличие ребер отражает наличие взаимодействия в процессе производства, а их веса — объемы потоков товаров и услуг, используемых секторами для производства собственной продукции. Таблицы «затраты — выпуск», представляющие собой матрицы смежности такого графа, регулярно публикуются статистическими агентствами разных стран, что позволяет исследовать динамику показателей в моделях на реальных сетях.

В основе большинства встречающихся в литературе моделей, описывающих многосекторную экономику, лежит гипотеза наличия совершенной конкуренции на всех рынках и, при рассмотрении макроэкономической динамики, сеть «затраты — выпуск» не меняется во времени [10—17]. Основным результатом для моделей такого рода заключается в том, что размер отклика системы как на положительные, так и на отрицательные технологические шоки секторов определяется значением центральности PageRank секторов (элементами обратной матрицы Леонтьева) для графа «затраты — выпуск» [12, 13]. Однако данная зависимость может нарушаться при введении механизмов несовершенной конкуренции. Так, для характеристики результатов в равновесной модели с элементами несовершенной конкуренции, заключающимися в возможности входа (или выхода) фирм на рынок (или с рынка), а также в экзогенном изменении уровня зарплат менеджмента, в работе [14] были предложены центральности двух типов (центральность покупателя и центральность продавца), отличающиеся от значения PageRank. Введение механизмов несовершенной конкуренции другого рода было предложено в нашей работе [20], где была проанализирована неравновесная агентная модель, в которой цена на продукты устанавливается

производителями, и было показано, что в этой модели отклик на технологические шоки также определяется значением PageRank сектора. Однако, как продемонстрировано в настоящей работе, распространение шоков совокупной факторной производительности (СФП)² в данной модели характеризуется двумя интересными особенностями. Прежде всего, наличие несовершенной конкуренции приводит к асимметрии отклика на положительные и отрицательные технологические шоки. А именно, абсолютное значение глубины рецессии в экономике превышает уровень подъема, возникающего в ответ на противоположные по знаку шоки одинаковой амплитуды. Учет эффектов такого рода может оказаться существенным для описания распространения кризисных явлений в экономике. В частности, неучет подобного рода эффектов может привести к недооценке последствий для всей экономики воздействия шоков отдельных отраслей. Так, например, если проводится политика, направленная на стимулирование производства в отдельных отраслях, подвергшихся шоку, с целью предотвращения распространения данного шока на другие отрасли экономики, то ввиду наличия эффектов, связанных с асимметрией отклика, объем оказываемой поддержки должен быть больше, чем рассчитанный в рамках моделей, в которых асимметрия отклика отсутствует.

Вторая особенность заключается в том, что результат данной работы характеризует влияние шоков СФП отдельных секторов на эволюцию матрицы «затраты — выпуск». Так, существенный недостаток равновесных моделей как с совершенной [10—17], так и несовершенной конкуренцией [14] состоит в том, что при наличии шоков СФП-матрица «затраты — выпуск» остается неизменной. В то же время эмпирический анализ реальных сетей «затраты — выпуск» показывает наличие их существенной эволюции во времени [22—23]. Как показано в настоящей работе, особенностью динамической неравновесной модели, описанной в работе [20], заключается в том, что технологические шоки секторов (шоки СФП) приводят к временной эволюции структуры матрицы «затраты — выпуск». Недостаток модели, тем не менее, состоит в малости этих изменений по сравнению с вариативностью реальных матриц. Однако полученные результаты характеризуют интересное направление для дальнейших исследований в целях количественного описания реальной динамики сетей «затраты — выпуск». Структура настоящей работы: в § 1 представлено краткое описание динамической многосекторной модели с несовершенной

² В качестве примеров шоков СФП можно рассматривать изменения технологий производства, стихийные бедствия и изменения погодных условий и т. п.

конкуренцией, предложенной в работе [20]; в § 2 представлены результаты анализа асимметрии отклика совокупного ВВП экономики в модели на положительные и отрицательные технологические шоки; анализ динамики матрицы «затраты — выпуск» в модели представлен в § 3; выводы и некоторые дополнительные замечания приведены в Заключение.

1. ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕСОВЕРШЕННОЙ КОНКУРЕНЦИИ НА СЕТИ «ЗАТРАТЫ — ВЫПУСК»

Приведем краткое описание модели, представленной в работе [20]. Данная модель предполагает описание взаимодействия N фирм (представляющих секторы, находящиеся в вершинах графа) и N потребителей в дискретном времени на сети «затраты — выпуск». Каждый потребитель является работником одной из фирм и, тем самым, может рассматриваться как репрезентативный работник отрасли. Производители максимизируют прибыль от продажи своей продукции потребителям (конечное потребление) и другим секторам (промежуточное потребление). Поток промежуточного потребления определяют веса ребер сети «затраты — выпуск». Прибыль компаний распределяется между всеми потребителями в соответствии с их долями в капитале компаний. Отличительная особенность данной модели заключается в том, что производители не только выбирают оптимальный для себя объем выпуска и число факторов производства, но и устанавливают цену на собственную продукцию и заработную плату, действуя, таким образом, в условиях несовершенной конкуренции. Для реализации такой стратегии производители должны иметь представление о кривых спроса на продукцию и предложения труда. В данной модели предполагалось, что это представление описывается субъективными кривыми спроса [24, 25]. Формирование таких представлений у производителей происходит динамически, иными словами, в процессе функционирования системы производители обучаются на основе реализовавшихся размеров спроса (более подробное обсуждение предположек выбора такого подхода см. в работе [20]).

Поскольку модель построена в рамках агентной идеологии, наиболее наглядным ее описанием служит протокол, иллюстрирующий последовательность решений, принимаемых агентами, находящимися в узлах сети. Подробное описание процесса принятия решений агентами дано в работе [20]. Далее приведен лишь алгоритм принятия решений.

Шаг 1. К моменту времени t каждая фирма i обладает запасом Y_{it} произведенных товаров, готовых к реализации.

Шаг 2. Представления производителей о виде кривой спроса описываются соотношением:

$$\frac{Y_{it+1}}{Y_{it}} = \xi_{it} \left(\frac{P_{it+1}/P_t}{P_{it}/P_{t-1}} \right)^{-\eta},$$

где P_{it} — цена на продукцию сектора i в момент времени t , P_t — общий уровень цен, определяющийся как среднее геометрическое цен отраслей, величина ξ_{it} оценивается производителем в каждом периоде с учетом реализовавшихся значений спроса и цен, а η — некоторый параметр. Используя эти представления, производитель устанавливает цену P_{it} на уже произведенный выпуск Y_{it} .

Шаг 3. Выпуск следующего периода производится из имеющихся на момент времени t товаров других секторов, а именно, описывается производственной функцией Кобба — Дугласа:

$$Y_{it+1} = A_{it+1} L_{it}^\alpha \left(\prod_{k \in S_i} X_{kit}^{\gamma_{ki}} \right)^{1-\alpha},$$

где A_{it+1} — СФП сектора i , L_{it} — использованный им объем труда, X_{kit} — объем промежуточного потребления товаров сектора k сектором i . Цены P_{kt} , $k = 1, \dots, N$, определяют размер издержек фирм на производство выпуска следующего периода. Зная цены P_{kt} , $k = 1, \dots, N$, каждая фирма планирует свое производство в следующем периоде, решая задачу максимизации ожидаемой прибыли следующего периода. Предполагается, что уровень заработной платы, также как и цен, устанавливается производителем с учетом субъективной функции предложения труда вида $L_{it} = \zeta_{it} (w_{it}/P_t)^k$, где величина ζ_{it} оценивается производителем в каждом периоде с учетом реализовавшихся значений предложения труда и заработной платы, а k — некоторый параметр. Результат решения задачи планирования — спрос на промежуточные факторы X_{kit}^{demand} (спрос сектора i на продукцию сектора k) и труд L_{it}^{demand} , а также уровень заработной платы.

Шаг 4. Зная уровень заработной платы, цены текущего периода, доходы предыдущего периода и имея ожидания относительно цен и доходов следующих периодов, потребитель решает задачу максимизации ожидаемой полезности вида

$$U_{jt} = E_t \sum_{s=0}^{\hat{T}} \beta^s u_{jt+s} (C_{jt+s}, L_{jt+s}) \rightarrow \\ \rightarrow \max_{C_{jt+s}, L_{jt+s}} L_{jt+s} \geq 0, i = 1, \dots, N,$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^N P_{it} C_{ijt} = w_{jt-1} L_{jt-1} + \sum_{i=1}^N \phi_{ji} \Pi_{it-1} + S_{jt-1},$$

$$\sum_{i=1}^N P_{it+s} C_{ijt+s} = w_{jt+s-1} L_{jt+s-1} + \\ + \sum_{i=1}^N \phi_{ji} \Pi_{it+s-1}, s > 0,$$

$$u_{jt} = \sum_{i=1}^N \theta_{ji} \log(C_{jit}) - \psi_j L_{jt}^2, \quad \sum_{i=1}^N \theta_{ji} = 1,$$

где $u_{jt}(\cdot)$ — мгновенная функция полезности, $C_{jt} = (C_{1jt}, \dots, C_{Njt})$, β — норма дисконтирования, w_{jt} — заработная плата потребителя j во временном интервале $[t, t+1]$, ϕ_{ji} — доля потребителя j в прибыли компании i , Π_{it} — прибыль компании i , S_{jt} — остаток неизрасходованных средств потребителя j к моменту времени t , \hat{T} — горизонт планирования потребителя. В результате определяется спрос потребителя j на конечное потребление продукции сектора i и предложение труда потребителя j : C_{ijt}^{demand} ($\forall i, j = 1, \dots, N$) и L_{jt}^{supply} .

Шаг 5. На рынке труда происходят трансакции по правилу $L_{it} = \min(L_{it}^{supply}, L_{it}^{demand})$.

Шаг 6. Трансакции на товарном рынке: $X_{ijt} = \min(X_{ijt}^{demand}, Y_{jt} X_{ij}^{demand} / D_{jt})$, $C_{ijt} = \min(C_{ijt}^{demand}, Y_{jt} C_{ij}^{demand} / D_{jt})$, где D_{jt} — совокупный спрос на продукцию фирмы j .

Шаг 7. Исходя из реальных продаж, фирмы рассчитывают прибыль предыдущего периода, запасы собственной продукции, переоценивают кривые спроса на свои товары и предложения труда. При переоценке кривых спроса учитывается, что в случае дефицита ($Y_{it} < D_{it}$) продукции на рынке фирма может не знать реальный объем спроса D_{it} . Для моделирования данного свойства вводился параметр Δ , так что в случае дефицита для переоценки кривой фирма использует величину $\bar{Y}_{it} = Y_{it} + \Delta(D_{it} - Y_{it})$ в качестве оценки спроса в момент времени t .

Шаг 8. Происходит распределение прибыли компаний потребителям и оценка сбережений. Убыток переносится компанией на следующий период.

Шаг 9. Реализуется значение совокупной факторной производительности A_{it} (шок СФП сектора i).

Шаг 10. Исходя из реально приобретенного числа факторов и с учетом нового значения СФП осуществляется производство нового выпуска. Нераспроданные остатки продукции переходят в следующий период в неизменном виде.

Шаг 11. Для момента времени $t + 1$ процедура повторяется.

На основе описанного алгоритма был проведен ряд численных симуляций, основная цель которых заключается в исследовании особенностей распространения технологических шоков секторов (шоков СФП) в многосекторной модели с несовершенной конкуренцией.

2. АСИММЕТРИЯ ОТКЛИКА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ШОКИ

В большинстве описанных в литературе равновесных многосекторных моделей с совершенной конкуренцией отклик на технологические шоки (шоки СФП) исследовался только в предположении о том, что производство описывается функцией Кобба — Дугласа [10—13, 15—17], поэтому, как следствие, абсолютные значения откликов ВВП экономики на положительные и отрицательные шоки отдельных секторов с одинаковой амплитудой совпадают.

В работе [19] показано, что в равновесных моделях с совершенной конкуренцией и производственными функциями CES общего вида учет (отсутствующих для функции Кобба — Дугласа) членов второго порядка в разложении совокупного ВВП по значениям производственных шоков отдельных секторов может привести к асимметрии значений отклика на шоки разных знаков. Так, в статической модели с совершенной конкуренцией и производственной функцией CES разложение совокупного ВВП экономики³ (C) по значениям шока СФП сектора i (λ_i) имеет вид [19]:

$$\log(C) = \log(\bar{C}) + \Lambda_i \log(\lambda_i) + \Theta_i (\log(\lambda_i))^2,$$

где \bar{C} — значение ВВП без шока ($\lambda_i = 1$, $i = 1, \dots, N$), значения $0 < \lambda_i < 1$ отвечают случаям отрицательных шоков, $\lambda_i > 1$ — случаям положительных шоков. Величины Λ_i и Θ_i определяются параметрами производственных функций секторов. Важно отметить, что величина Θ_i может принимать как положительные, так и отрицательные значения. Тем самым, при $\Theta_i < 0$ возникает увеличение эффекта отрицательных шоков (по сравнению с ли-

³ В моделях такого рода совокупный ВВП экономики равен совокупному объему конечного потребления.

нейным приближением) и, напротив, уменьшение эффекта положительных шоков. В частности, такой эффект характерен для экономики, в которой различные товары являются макро-комплементами. Противоположный эффект наблюдается при $\Theta_i > 0$. Случай $\Theta_i = 0$ отвечает производственным функциям Кобба — Дугласа. Очевидно, в данном случае приближение второго порядка совпадает с лог-линейным разложением и асимметрия отклика не наблюдается.

В динамических неравновесных моделях проявление асимметрии отклика экономики на шоки разных знаков можно ожидать не только как результат описанных эффектов, но и как следствие временного нарушения координации между агентами. Данный эффект продемонстрирован далее в рамках модели [20].

Аналогично работе [20], начальные значения переменных инициализировались на основе статистических данных World Input-Output Database (WIOD) для России (34 сектора, годовая периодичность данных, 1995—2009 гг.). Классификация секторов WIOD приведена в Приложении. Используемые в симуляциях значения параметров перечислены в табл. 1. Для простоты в данной работе мы не оцениваем эластичность выпуска отраслей по труду и не анализируем влияние изменения данной величины на динамику показателей, поскольку ее изменение не меняет качественных выводов, описываемых в работе. Результаты симуляций, описанные ниже, не претендуют на количественное соответствие эффектам, имеющим место в российской экономике. Цель данного анализа не в построении какого-либо прогноза, а в иллюстрации нетривиальных эффектов, возникающих при явном учете многосекторности экономики и введении в модель довольно реалистичных предположений о возможности присутствия несовершенства конкуренции на рынках.

Под технологическим шоком некоторого сектора k в данной модели понимается шок СФП этого сектора, т. е. событие, при котором в определенный момент времени t^* СФП этого сектора испытывает то или иное воздействие: $A_{kt^*} = \lambda_{kt} A_{kt^* - 1}$, $\lambda_{kt} > 0$; $A_{kt} = A_{kt^*}$, $t > t^*$. При этом значения $\lambda_{kt} > 1$ отвечают положительным шокам, а значения $0 < \lambda_{kt} < 1$ — отрицательным. Во всех известных авторам равновесных многосекторных моделях с совершенной конкуренцией исследуется распространение по сети именно возмущений вследствие шоков СФП. Как уже отмечалось, абсолютные значения отклика совокупного выпуска экономики на положительные и отрицательные шоки одной амплитуды в равновесных моделях совпадают.

Иллюстрация отклика совокупного реально-го ВВП экономики на 5%-й положительный

($\lambda_{1t} = 1,05$) и отрицательный ($\lambda_{1t} = 0,95$) шоки сектора 17 (Electricity, Gas and Water Supply) приведена на рис. 1 (как будет показано далее, отрицательный шок именно сектора 17 приводит к наибольшему отклику реального ВВП). Видно, что несмотря на то, что в долгосрочной перспективе значения отклика совокупного ВВП на положительный и отрицательный шоки совпадают, в краткосрочной перспективе амплитуда отклика на отрицательный шок (точка *A* на графике) значительно превосходит амплитуду отклика на положительный шок (точка *B*). Таким образом, если воздействие положительных технологических шоков приводит к постепенному росту ВВП, то отклик на отрицательный шок сопровождается периодом сравнительно глубокой и продолжительной рецессии. Кроме того, отметим различие характерных времен отклика на положительный и отрицательный шоки.

Описанный на примере сектора 17 эффект асимметрии откликов является общим для технологических шоков всех секторов экономики, что продемонстрировано на диаграмме (рис. 2). Как следует из этой диаграммы, значения отклика на положительные шоки сопоставима со значениями отклика на шоки в равновесной модели с совершенной конкуренцией Long & Plosser [15], тогда как степень воздействия отрицательных шоков больше отклика на положительные шоки в среднем более чем в 2 раза.

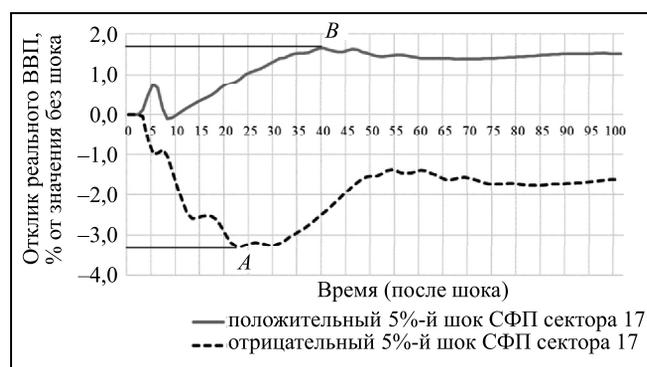


Рис. 1. Отклик реального ВВП на 5%-й отрицательный и положительный шоки СФП сектора 17 (Electricity, Gas and Water Supply): точки *A* и *B* иллюстрируют амплитуду отклика

Описанный эффект является следствием нарушения координации в анализируемой модели. А именно, негативный шок некоторого сектора *i* приводит к дефициту производимых им товаров, что вынуждает производителя *i* повышать цену. Если бы производитель *i* точно знал функцию спроса на собственную продукцию, то подстройка цены произошла бы мгновенно, и система сразу перешла бы в новое равновесие. Однако производители обладают лишь приблизительными представлениями о будущем спросе. В результате устанавливаемая цена может превысить оптимальную

Таблица 1

Значения параметров в симуляциях

Параметр	Значение в модели [20]	Значение
$\Gamma = \{\gamma_{ij}\}_{i,j=1,\dots,N}$	Коэффициенты производственных функций Кобба — Дугласа	Значения элементов нормированной по столбцу матрицы «затраты — выпуск» РФ 1995 г.
$\theta_{ip}, i = 1,\dots,N$	Коэффициенты мгновенной функции полезности потребителя	Доля затрат на конечное потребление продукции сектора <i>i</i> в совокупном объеме затрат на конечное потребление
\bar{T}	Длина периода, в котором оцениваются кривые спроса и предложения труда	12 (1 г., если считать такт модели равным 1 мес)
α	Эластичность выпуска по труду (параметр производственной функции Кобба — Дугласа)	0,3
β	Норма дисконтирования	0,99
$\varphi_{ij}, i, j = 1,\dots,N$	Доля потребителя <i>j</i> в прибыли фирмы <i>i</i>	$1/N$
η	Параметр субъективной функции спроса (эластичность спроса по цене)	1,5
κ	Параметр субъективной кривой предложения труда (эластичность предложения труда по заработной плате)	0,5
Δ	Объем доступной информации о спросе в предыдущем периоде	0,1

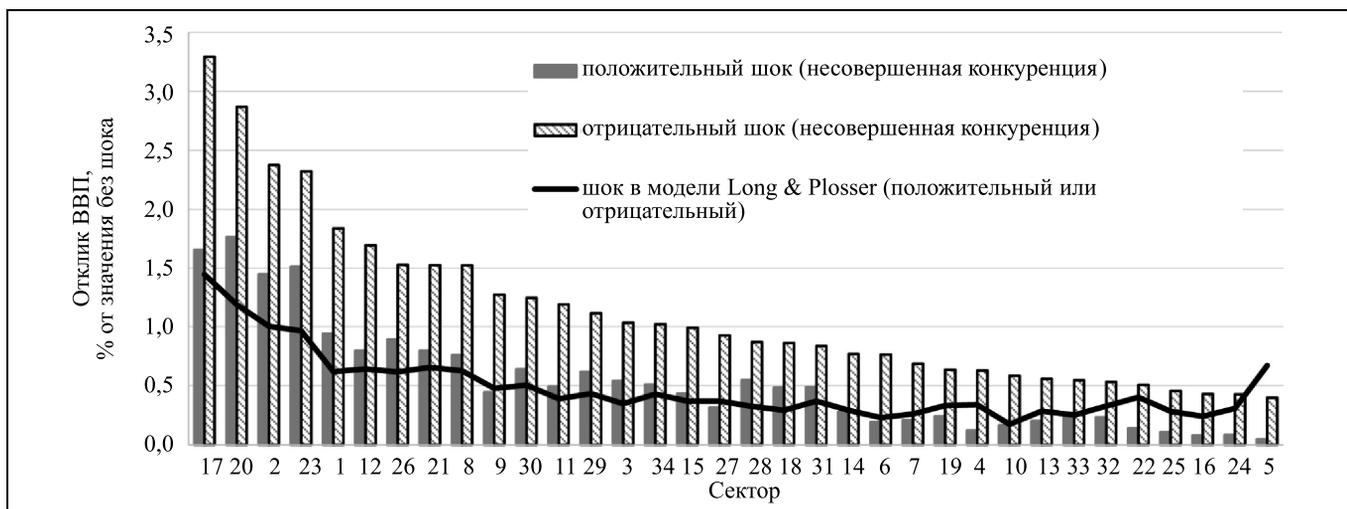


Рис. 2. Асимметрия откликов совокупного реального ВВП на положительные и отрицательные 5%-е шоки СФП разных секторов в много-секторной модели с несовершенной конкуренцией

и, как следствие, производитель i продаст не всю продукцию. Таким образом, данный эффект приводит к еще большему уменьшению продаж сектора i . Кроме того, поскольку продукция сектора i используется впоследствии другими секторами, их выпуск также уменьшается, что, в свою очередь, усиливается ценовыми эффектами, аналогичными описанному.

В случае положительного шока СФП сектора i подобный эффект не наблюдается, поскольку уменьшение цены до уровня ниже оптимального приводит к тому, что спрос на продукцию сектора i будет выше, чем предложение. Однако перепроизводства (противоположного по знаку описанной выше рецессии) в экономике возникнуть не может, так как объем продукции сектора i ограничен. Превышение спроса над предложением приведет к тому, что в следующих периодах цена вырастет до нового равновесного уровня.

Таким образом, отсутствие мгновенной подстройки цен усиливает краткосрочные последствия негативных шоков СФП, не оказывая существенного усиливающего влияния на последствия положительных шоков. В равновесных же моделях в каждом периоде цены подбираются так, чтобы спрос был равен предложению, вследствие чего описанные эффекты не наблюдаются.

Отметим, что, принимая во внимание описанные выше результаты работы [19], можно предположить, что применение в модели с несовершенной конкуренцией производственных функций CES вместо функций Кобба — Дугласа может увеличить описанную асимметрию.

Наблюдение, связанное с различием времен отклика на шоки разных знаков, также является общим для всех секторов. При этом для всех отрас-

лей, за исключением сектора 5 (Leather, Leather and Footwear), максимальное воздействие отрицательного шока предшествует отклику на положительный шок. Учитывая такую особенность системы, можно ожидать нетривиальную зависимость агрегированного отклика системы от временного паттерна, характеризующего возникновение положительных и отрицательных шоков.

3. ДИНАМИКА МАТРИЦЫ «ЗАТРАТЫ — ВЫПУСК» В МНОГОСЕКТОРНОЙ МОДЕЛИ С НЕСОВЕРШЕННОЙ КОНКУРЕНЦИЕЙ

Введем обозначения для матрицы \mathbf{Z} «затраты — выпуск» в текущих ценах

$$\mathbf{Z}_t = \{Z_{ijt}\}_{i,j=1,\dots,N} \equiv \{P_{it}X_{ijt}\}_{i,j=1,\dots,N}$$

и нормированной по столбцу матрицы \mathbf{G}

$$\mathbf{G}_t = \{G_{ijt}\}_{i,j=1,\dots,N} \equiv \left\{ \frac{P_{it}X_{ijt}}{\sum_{k=1}^N P_{kt}X_{kjt}} \right\}_{i,j=1,\dots,N}$$

Отметим, что реальные матрицы «затраты — выпуск» существенно эволюционируют во времени [22—23]. В частности, данный факт может быть проиллюстрирован динамикой L^1 -расстояния d между нормированными матрицами (\mathbf{G}_t) «затраты — выпуск» разных лет (рис. 3), определяемого соотношением

$$d(\mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2) = \max_j \sum_i |G_{ij1} - G_{ij2}|.$$



Рис. 3. Динамика L^1 -расстояния между нормированными матрицами «затраты — выпуск» России G_t (источник: расчеты авторов на основе данных WIOD (a) и ИНП РАН⁴ (б))

Для наглядности на рис. 3 приведена динамика как расстояния между матрицами «затраты — выпуск» в текущих ценах в классификации WIOD (рис. 3, a), так и в постоянных ценах в классификации ОКОНХ по данным Института народнохозяйственного прогнозирования (ИНП) РАН (рис. 3, б).

Принимая во внимание данный факт, важно отметить, что во всех известных авторам равновесных многосекторных моделях с совершенной конкуренцией действие шоков не приводит к изменению матрицы «затраты — выпуск», поскольку даже при наличии шоков соотношение между потоками промежуточного потребления определяется постоянными коэффициентами производственных функций. Как отмечается в работе [20], в рассматриваемой в ней модели с несовершенной конкуренцией в равновесии в отсутствие шоков элементы матрицы G_t также определяются постоянными коэффициентами производственных функций, что следует из условий первого порядка задачи максимизации прибыли:

$$X_{kit} P_{kt} = (1 - 1/\eta)(1 - \alpha)\gamma_{ki} Y_{it+1} P_{it+1}, \quad (1)$$

⁴ Данные расчетных межотраслевых балансов РФ за 1980—2006 гг. в классификации ОКОНХ в постоянных ценах взяты с сайта <http://www.macroforecast.ru/>.

приводящих к соотношению

$$G_{kit} \equiv \frac{X_{kit} P_{kt}}{\sum_{j \in S_i} X_{jit} P_{jt}} = \gamma_{ki}.$$

Однако, как отмечалось выше, технологические шоки секторов выводят систему из равновесия. В связи с этим, интерес представляет анализ обусловленных эффектами неравновесия динамики матрицы «затраты — выпуск», индуцированный технологическими шоками.

Обозначим \hat{Y}_{it+1} и \hat{P}_{it+1} плановые (или равновесные) значения выпуска и цен сектора i , полученные в результате решения задачи максимизации прибыли (на этапе 3 алгоритма принятия решений в модели [20]). Предположим, что до момента времени t система находилась в состоянии равновесия, т. е. фактические выпуск и цены производителей совпадали с плановыми. Кроме того, пусть в момент времени $t + 1$ сектор i испытывает негативный технологический шок λ_y ($A_{it+1} = \lambda_y A_{it}$) такой, что реальный выпуск Y_{it+1} оказывается меньше планового:

$$Y_{it+1} = \lambda_y \hat{Y}_{it+1}, \quad \lambda_y < 1.$$

Для предполагаемой в модели степенной субъективной функции спроса имеем соотношение

$Y_{it+1} \sim P_{it+1}^{-1/\eta}$, руководствуясь которым, производитель i изменит цену до уровня P_{it+1} , определяемого условием

$$P_{it+1} = \lambda_y^{1/\eta} \hat{P}_{it+1} > \hat{P}_{it+1}. \quad (2)$$

Увеличение цены сектора i приводит к увеличению издержек остальных секторов. Поэтому плановые значения выпуска и цен на следующий период других секторов изменятся. Пусть \hat{Y}_{jt+2} и \hat{P}_{jt+2} — новые планы сектора j . Учитывая условия первого порядка в задаче максимизации прибыли, нетрудно показать, что изменение планового объема выручки сектора j составит (по сравнению со значением плана на тот же период в отсутствие шока)

$$\frac{\hat{Y}_{jt+2} \hat{P}_{jt+2}}{\hat{Y}_{jt+2} \hat{P}_{jt+2}} = \lambda_y^{\gamma_{ij}^v} < 1,$$

где $v = \frac{1-\alpha}{\eta - (\eta-1)(1 - \frac{\alpha}{\kappa+1})}$. Принимая во внима-

ние выражения (1) и (2), изменение планового объема закупок сектора j у сектора i составит

$$\frac{\hat{Y}_{ijt+1} P_{it+1}}{\hat{Y}_{ijt+1} \hat{P}_{it+1}} = \lambda_y^{\gamma_{ij}^v} \Rightarrow \frac{\hat{X}_{ijt+1}}{\hat{X}_{ijt+1}} = \lambda_y^{\gamma_{ij}^v + 1/\eta}.$$

В свою очередь, изменение планового объема закупок сектора j у сектора k , $k \neq i$, определяется соотношением

$$\frac{\hat{X}_{kjt+1} P_{kt+1}}{\hat{X}_{kjt+1} \hat{P}_{kt+1}} = \frac{\hat{X}_{kjt+1} \hat{P}_{kt+1}}{\hat{X}_{kjt+1} \hat{P}_{kt+1}} = \lambda_y^{\gamma_{ij}^v} \Rightarrow \frac{\hat{X}_{kjt+1}}{\hat{X}_{kjt+1}} = \lambda_y^{\gamma_{ij}^v}.$$

Если на рынке отсутствует дефицит продукции, то для любого сектора k планируемый объем закупок промежуточных факторов производства совпадет с фактическим и нормированная матрица «затраты — выпуск» не изменится:

$$\begin{aligned} G_{kjt+1} &\equiv \frac{X_{kjt+1} P_{kt+1}}{\sum_{i=1}^N X_{ijt+1} P_{it+1}} = \frac{\hat{X}_{kjt+1} P_{kt+1}}{\sum_{i=1}^N \hat{X}_{ijt+1} P_{it+1}} = \\ &= \frac{\lambda_y^{\gamma_{ij}^v} \hat{X}_{kjt+1} \hat{P}_{kt+1}}{\lambda_y^{\gamma_{ij}^v} \sum_{i=1}^N \hat{X}_{ijt+1} \hat{P}_{it+1}} = \gamma_{kj}. \end{aligned}$$

Если же на рынке наблюдается дефицит, то реальный объем закупок фирм оказывается меньше планового. В результате оптимальное соотношение между затратами на разные факторы нарушается, а значит, меняются и потоки промежуточных товаров, характеризующие сеть «затраты — выпуск».

Покажем, что сразу после воздействия негативного шока СФП сектора i на рынке наблюдается дефицит продукции этого сектора. Совокупный спрос на продукцию сектора i в момент времени $t+1$ складывается из потребностей других секторов на продукцию этого сектора (плановое промежуточное потребление) и желаемого объема конечного потребления домашними хозяйствами:

$$\begin{aligned} D_{it+1} &= \sum_k \hat{X}_{ikt+1} + \sum_k \hat{C}_{ikt+1} = \\ &= \sum_k \lambda_y^{\gamma_{ij}^v + 1/\eta} \hat{X}_{ijt+1} + \sum_k \lambda_y^{1/\eta} \hat{C}_{ikt+1}, \end{aligned}$$

где \hat{C}_{ikt+1} и \hat{C}_{ikt+1} — значения желаемого потребления продукции сектора i домашним хозяйством k до и после воздействия шока соответственно. В последнем равенстве учтено, что изменение спроса на конечное потребление определяется изменением уровня цен⁵.

Совокупное предложение сектора i определяется объемом продукции, произведенной сектором:

$$Y_{it+1} = \lambda_y \hat{Y}_{it+1} = \lambda_y \left(\sum_k \hat{X}_{ikt+1} + \sum_k \hat{C}_{ikt+1} \right).$$

Учитывая, что поскольку при характерных значениях параметров модели справедливы неравенства $\gamma_{ij}^v + 1/\eta < 1$ и $1/\eta < 1$, то $D_{it+1} > Y_{it+1}$, т. е. на рынке наблюдается дефицит продукции сектора i . Из приведенных аргументов следует, что воздействие негативных и положительных шоков на структуру матрицы «затраты — выпуск» отличается. Так, отклик на негативные шоки наблюдается непосредственно после воздействия шока, тогда как воздействие положительных шоков СФП на структуру матрицы может быть отложенным (в силу отсутствия дефицита продукции на рынке сразу после воздействия шока).

Из правила проведения транзакций на товарном рынке (шаг 6 алгоритма, приведенного в работе [20]) следует, что при дефиците товаров происходит их пропорциональное распределение. Таким образом, верно следующее соотношение между

⁵ Данное утверждение следует из условий первого порядка в задаче максимизации полезности потребителя, а также неизменности дохода потребителя, полученного до момента времени $t+1$.

реальной стоимостью промежуточных факторов сектора i , приобретенных сектором j , и исходными плановыми (равновесными) расходами:

$$\frac{X_{ijt+1} P_{it+1}}{\hat{X}_{ijt+1} \hat{P}_{it+1}} = \lambda_D \lambda_y^{\gamma_{ij}^v},$$

$$\text{где } \lambda_D = \frac{\hat{Y}_{it+1}}{\sum_k \lambda_y^{\gamma_{ik}^v + 1/\eta} \hat{X}_{ikt+1} + \sum_k \lambda_y^{1/\eta} \hat{C}_{ijt+1}}.$$

Аналогичным образом нетрудно показать, что в момент времени $t + 1$ наблюдается профицит продукции всех секторов, кроме сектора i . Учитывая это, получаем соотношение, характеризующее изменение элементов нормированной матрицы «затраты — выпуск» в момент времени $t + 1$:

$$\frac{D_{ijt+1}}{D_{kjt+1}} = \frac{1}{\lambda_D} \frac{\gamma_{ij}}{\gamma_{kj}}. \quad (3)$$

Таким образом, соотношение (3) характеризует изменение матрицы «затраты — выпуск», вызванное шоком СФП одного из секторов. Динамика матрицы в последующие моменты времени представляет собой суперпозицию откликов такого рода на последующее отклонение выпуска остальных секторов.

Для оценки достаточности описанного модельного механизма генерации динамики матрицы «затраты — выпуск» для описания эволюции, наблюдаемой в данных (см. рис. 3), был проведен численный эксперимент, в котором исследовалась эволюция агрегированной по году (12-ти модельным тактам) матрицы в случае, когда технологические шоки описывались случайным процессом

$$A_{it} = A_{it-1} \exp(\varepsilon_{it}), \quad \varepsilon_{it} \sim \text{i.i.d. } \mathcal{N}(0, \sigma_\varepsilon^2).$$

Для корректности сравнения результатов длительность наблюдения в модели была такой же, как объем доступных эмпирических данных (16 лет или 192 такта). Динамика L^1 -расстояния между исходной матрицей и матрицами последующих лет представлена на рис. 4. Из сравнения характерных расстояний в модели (среднее порядка 0,015) и реальных величин (см. рис. 3, все расстояния превышают 0,3) ясно, что вариативность реальных матриц существенно больше модельной. Кроме того, расстояние между матрицами в модели колеблется вокруг некоторого среднего, тогда так в реальных данных прослеживается явно выраженный тренд.

Таким образом, хотя обнаружение динамики матрицы «затраты — выпуск» в многосекторной модели с несовершенной конкуренцией и является существенным результатом, однако предьявлен-



Рис. 4. Динамика L^1 -расстояния между нормированными матрицами «затраты — выпуск» (G_t) и исходной матрицей (G_0) в модели

ного механизма недостаточно для описания наблюдаемой в данных эволюции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены особенности отклика многосекторной экономической системы на технологические шоки в рамках представленной в работе [20] динамической многосекторной модели несовершенной конкуренции на графе «затраты — выпуск». Неравновесность модели, а также механизмы, характерные для несовершенной конкуренции, приводят к тому, что отклик системы на технологические шоки одной амплитуды, но разных знаков оказывается разным. А именно, падение реального ВВП вследствие негативного шока оказывается более глубоким, чем подъем, следующий за положительным технологическим шоком. Кроме того, отклики на эти шоки имеют разные временные масштабы, поэтому целесообразно дальнейшее исследование зависимости отклика системы от характеристик случайного процесса, описывающего шоки, в частности, от временного паттерна их наступления.

Показано, что в рамках многосекторной модели с несовершенной конкуренцией один из результатов воздействия технологических шоков заключается в изменении структуры матрицы «затраты — выпуск». Однако это изменение мало по сравнению с наблюдаемой в данных вариативностью реальных матриц. Исходя из этого, необходимо дальнейшее исследование возможных механизмов эволюции матрицы «затраты — выпуск».

Авторы выражают признательность рецензентам и члену Редколлегии В.В. Ключкову за ценные замечания, позволившие существенно повысить качество работы.

ПРИЛОЖЕНИЕ
Классификация WIOD

Номер сектора	Название
1	Agriculture, Hunting, Forestry and Fishing
2	Mining and Quarrying
3	Food, Beverages and Tobacco
4	Textiles and Textile Products
5	Leather, Leather and Footwear
6	Wood and Products of Wood and Cork
7	Pulp, Paper, Paper, Printing and Publishing
8	Coke, Refined Petroleum and Nuclear Fuel
9	Chemicals and Chemical Products
10	Rubber and Plastics
11	Other Non-Metallic Mineral
12	Basic Metals and Fabricated Metal
13	Machinery, Nec
14	Electrical and Optical Equipment
15	Transport Equipment
16	Manufacturing, Nec; Recycling
17	Electricity, Gas and Water Supply
18	Construction
19	Sale, Maintenance and Repair of Motor Vehicles and Motorcycles; Retail Sale of Fuel
20	Wholesale Trade and Commission Trade, Except of Motor Vehicles and Motorcycles
21	Retail Trade, Except of Motor Vehicles and Motorcycles; Repair of Household Goods
22	Hotels and Restaurants
23	Inland Transport
24	Water Transport
25	Air Transport
26	Other Supporting and Auxiliary Transport Activities; Activities of Travel Agencies
27	Post and Telecommunications
28	Financial Intermediation
29	Real Estate Activities
30	Renting of M&Eq and Other Business Activities
31	Public Admin and Defence; Compulsory Social Security
32	Education
33	Health and Social Work
34	Other Community, Social and Personal Services

ЛИТЕРАТУРА

1. *Input-output economics* / ed. by W. Leontief. — Oxford: Oxford University Press, 1986.
2. *Коссов В.В.* Межотраслевой баланс. — М.: Экономика, 1966. — 223 с.
3. *Михалевский Б.Н.* Система моделей среднесрочного народнохозяйственного планирования: Принцип, обзор, описание верхнего уровня народнохозяйственного планирования. — М.: Наука, 1972. — 475 с.
4. *Исаев Б.Л.* Балансы межотраслевых финансовых связей. — М.: Наука, 1973. — 280 с.
5. *Гранберг А.Г.* Математические модели социалистической экономики. — М.: Экономика, 1978. — 351 с.
6. *Lucas R.E.* Understanding business cycles // *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*. — 1977. — Vol. 5, N 1. — P. 7–29.

7. *Hulten C.R.* Growth Accounting with Intermediate Inputs // *Rev. Econ. Stud.* — 1978. — Vol. 45. — P. 511–518.
8. *Aggregate* Fluctuations from Independent Sectorial Shocks: Self-Organized Criticality in a Model of Production and Inventory Dynamics / P. Bak, et al. // *Ricerche Economiche*. — 1993. — Vol. 47. — P. 3–30.
9. *Credit* chains and bankruptcy propagation in production networks / S. Battiston, et al. // *Journal of Economic Dynamics and Control*. — 2007. — Vol. 31, N 6. — P. 2061–2084.
10. *Carvalho V.M.* Aggregate Fluctuations and the Network Structure of Intersectoral Trade // *Working Papers* (Universitat Pompeu Fabra. Departament de Economia y Empresa). — 2009. — N 1206. — 58 p.
11. *Foerster A.T., Sarte P.-D.G., Watson M.W.* Sectoral versus Aggregate Shocks: A Structural Factor Analysis of Industrial Production // *The Journal of Political Economy*. — 2011. — Vol. 119, N 1. — P. 1–38.
12. *The Network* Origins of Aggregate Fluctuations / D. Acemoglu, et al. // *Econometrica*. — 2012. — Vol. 80, N 5. — P. 1977–2016.
13. *Carvalho V.M.* A survey paper on recent developments of input-output analysis // *Complexity Research Initiative for Systemic Instabilities*. — 2013. — 40 p.
14. *Baqee D.R.* Cascading Failures in Production Networks // *Econometrica*. — 2018. — Vol. 86, N 5. — P. 1819–1838.
15. *Long J.B.J., Plosser C.I.* Real Business Cycles // *Journal of Political Economy*. — 1983. — Vol. 9, N 1 (1). — P. 39–69.
16. *Dupor B.* Aggregation and irrelevance in multi-sector models // *Journal of Monetary Economics*. — 1999. — Vol. 43, N 2. — P. 391–409.
17. *Horvath M.* Sectoral shocks and aggregate fluctuations // *Journal of Monetary Economics*. — 2000. — Vol. 45, N 1. — P. 69–106.
18. *Gabaix X.* The GRANULAR Origins of Aggregate Fluctuations // *Econometrica*. — 2011. — Vol. 79, N 3. — P. 733–772.
19. *Baqee D.R., Farhi E.* The Macroeconomic Impact of Microeconomic Shocks: Beyond Hulten's Theorem // *NBER Working Papers*. — 2017. — N 23145. — P. 1–75.
20. *Леонидов А.В., Серебрянникова Е.Е.* Динамическая модель несовершенной конкуренции в многосекторной экономике // *Проблемы управления*. — 2017. — Т. 4. — С. 8–16.
21. *Leonidov A., Serebryannikova E.* Dynamical Topology of Highly Aggregated Input-Output Networks // *Working Paper*. — 2018. — URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3117605 (дата обращения: 06.09.2018).
22. *Ершов Э.Б.* Развитие и реализация идей модели межотраслевых взаимодействий для российской экономики // *Экономический журнал Высшей школы экономики*. — 2008. — Т. 12, № 1.
23. *Foerster A., Choi J.* The Changing Input-Output Network Structure of the U.S. Economy. — *Fed. Reserv. Bank Kansas City. Econ. Rev.* — 2017. — P. 23–49.
24. *Benassy J.-P.* The Disequilibrium Approach to Monopolistic Price Setting and General Monopolistic Equilibrium // *The Review of Economic Studies*. — 1976. — Vol. 43, iss. 1. — P. 69–81.
25. *Benassy J.-P.* The Macroeconomics of Imperfect Competition and Nonclearing Markets. A Dynamic General Equilibrium Approach. — MIT Press, 2002. — P. 272.

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.В. Клочковым.

Леонидов Андрей Владимирович — д-р физ.-мат. наук, вед. науч. сотрудник, Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва; профессор, Московский физико-технический институт (государственный университет), г. Долгопрудный, leonidov@lpi.ru,

Серебрянникова Екатерина Евгеньевна — мл. науч. сотрудник, Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва; аспирант, Московский физико-технический институт (государственный университет), г. Долгопрудный, serebryannikova@lpi.ru.

Поступила в редакцию 06.09.2018, после доработки 27.11.2018.
Принята к публикации 12.12.2018.