

# Описание функционирования обрабатывающего сектора в макромодели российской экономики\*

Н.К. ОБРОСОВА<sup>1,2</sup>, А.А. ШАНАНИН<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет), г. Долгопрудный, Россия

<sup>2</sup> Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия

<sup>3</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

**Аннотация.** Предложена концепция блока четырех секторной макроэкономической модели экономики России, описывающая деятельность обрабатывающего сектора в условиях жесткой конкуренции с импортом, дефицита оборотных средств и ограничений торговой инфраструктуры. Предлагаемое описание основано на результатах исследования класса моделей производства с учетом дефицита оборотных средств и нестабильности реализации продукции.

**Ключевые слова:** уравнение Беллмана, модель экономики России, дефицит оборотных средств.

**DOI:** 10.14357/20790279180215

## Введение

На протяжении почти 40 лет в научной школе, созданной академиком РАН А.А. Петровым, развивается подход к анализу экономических явлений, основанный на построении вычислимых моделей экономической системы [1]. Преимуществом данного подхода является возможность анализа и прогнозирования структурных сдвигов в экономике и косвенных последствий экономических решений в результате учета существенных обратных связей в модели. Суть подхода состоит в выделении необходимой для целей исследования системы экономических агентов, построении для них полной системы материальных и финансовых балансов, а также математическом моделировании поведения экономических агентов как рационального с учетом особенностей их функционирования в сложившихся экономических условиях. В случае, если поведение агента нельзя описать как рациональное, оно задается некоторым сценарием. Замыкание системы уравнений модели – описание взаимодействия на выделенных в модели рынках. В результате получаются модели, дающие замкнутое описание эволюции экономической системы при заданном сценарии государственной экономической политики и внешнеэкономических условиях. С помощью разработанных при участии авторов вычислимых макромоделей была проанализирована эволюция российских экономических структур в период реформ 1985-2002 г.г., а также

в период относительной стабилизации 2002-2006 г.г. [1-3]. В последнее десятилетие построение вычислимых макромоделей экономики России затруднено в связи с существенными задержками в публикации статистическими органами данных межотраслевого баланса. Причина задержек – нарушение эмпирического предположения о постоянстве структуры потребления отечественных и импортных производственных факторов. В условиях глобализации рынков и сопровождавшей ее стандартизации товаров существенно выросла их взаимозаменяемость, и гипотезы о постоянстве структуры перестали выполняться. Публикация матрицы затрат-выпусков в 2017г. (впервые после 2003г.) позволяет возобновить работы по анализу и прогнозированию макроэкономической ситуации в России с помощью вычислимых моделей.

Современная российская экономика функционирует в условиях неоднородности. Роль связующего звена исполняет государственный бюджет. Донором бюджета является экспортно-ориентированный нефтегазовый комплекс, проблемы развития которого связаны с эффективностью инвестиционных вложений в условиях изменяющихся цен на нефтепродукты. Расходы бюджета связаны с обеспечением функционирования и развитием инфраструктурного сектора и обрабатывающего сектора, который функционирует в условиях нестабильной реализации продукции и дефицита оборотных средств. Основываясь на результатах анализа особенностей современной российской экономики,

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ N17-07-00507.

представляется естественным выделить в модели 4 сектора: 1) обрабатывающий сектор, 2) сектор инфраструктурных отраслей (электроэнергетика, связь), 3) сектор добывающих отраслей, 4) сектор услуг. В данной работе мы подробнее остановимся на описании сектора обрабатывающих отраслей, продукция которого конкурирует с импортом на оптовом рынке товаров. В условиях финансовой нестабильности и падения платежеспособного спроса у предприятий отрасли возникает опасность кризиса перепроизводства. Актуальной является проблема регулирования объемов производства в условиях задержек в реализации продукции и дефицита оборотных средств. Для анализа проблем функционирования предприятий обрабатывающего сектора авторами разработан новый класс моделей производства с учетом дефицита оборотных средств и нестабильности реализации продукции [4,5]. Модели успешно использованы для анализа экономических условий функционирования ряда предприятий агропромышленного комплекса [6,7]. Концепция описания обрабатывающего сектора построена на основе результатов исследования разработанных моделей.

### 1. Концепция описания сектора обрабатывающих отраслей

Продукция обрабатывающего сектора является фондообразующей и конкурирует на внутреннем оптовом рынке с импортными аналогами. Обрабатывающий сектор предлагается рассматривать как агрегированную производственную единицу, имеющую мощность  $\eta_1(t)$ , изменяющуюся в результате инвестиций в развитие мощностей и экспоненциального процесса их выбытия с темпом  $\mu$ . Распределение капитальных затрат между отечественным (в объеме  $B_1$ , с коэффициентом приростной фондоемкости  $b_1$ ) и импортным (в объеме  $B_1^{im}$ , с коэффициентом приростной фондоемкости  $b_1^{im}$ ) продуктом задается CES функцией (с эластичностью замещения  $\sigma_B$ ) вида

$$g\left(\frac{B_1(t)}{b_1}, \frac{B_1^{im}(t)}{b_1^{im}}\right) = \left[ \left(\frac{B_1(t)}{b_1}\right)^{\frac{\sigma_B}{1+\sigma_B}} + \left(\frac{B_1^{im}(t)}{b_1^{im}}\right)^{\frac{\sigma_B}{1+\sigma_B}} \right]^{\frac{1+\sigma_B}{\sigma_B}},$$

тогда

$$\frac{d\eta_1(t)}{dt} = g\left(\frac{B_1(t)}{b_1}, \frac{B_1^{im}(t)}{b_1^{im}}\right) - \mu\eta_1(t).$$

Производственные затраты  $y_1(t)$  на выпуск единицы продукта, которые учитывают замещение

с эластичностью  $\sigma$  отечественных и импортных производственных факторов (CES функция)

$$y_1(t) = \sum_{i=2}^4 a_{i1} p_i(t) + \left[ (a_{11} p_1(t))^{-\sigma} + (a_{11}^{im} \rho(t))^{-\sigma} \right]^{\frac{1}{\sigma}},$$

где  $A = (a_{ij})_{i,j=1,\dots,4}$  – матрица затрат-выпусков,  $a_{11}^{im}$  – коэффициент прямых затрат импортного продукта 1-го сектора на выпуск единицы продукта,  $p_i(t)$  – индекс оптовых цен на продукцию сектора  $i=1,\dots,4$ ,  $\rho(t)$  – средневзвешенный курс валютной корзины.

Реализация продукции происходит в случайные моменты времени, образующие пуассоновский поток с параметром  $\lambda$ . Ограничение торговой инфраструктуры не позволяет одновременно реализовать партию товара, превышающую объем  $Y^*$  и производитель может накапливать некоторый запас продукции на складе. Текущие производственные затраты осуществляются исключительно за счет кредитной линии под процент  $r_1$  на конкурентном рынке кредитов. Задача производителя в каждый момент времени  $t$ : выбор оптимального времени функционирования производства с целью максимизации математического ожидания дисконтированного с коэффициентом  $\Delta$  дохода от производственной деятельности. Задача формализована в виде уравнения Беллмана, решение которого найдено в явном виде. Результаты исследования модели позволили вычислить усредненные характеристики функционирования производства в модели, а также построить систему алгебраических уравнений модели, входные и выходные показатели которой сопоставимы с данными официальной отчетности компаний. Решение системы позволяет оценивать влияние конъюнктурных параметров на показатели деятельности производства. Подробнее описание модели и результаты исследования приведены в [4,5]. В терминах модели выпуск обрабатывающего сектора  $Y_1(t)$  определяется средним уровнем загрузки мощностей  $u_1(t) \in [0,1]$  и равен  $Y_1(t) = u_1(t)\eta_1(t)$ , где

$$u_1(t) = U\left(\zeta_0(t), \frac{\lambda(t)Y^*}{\eta(t)}\right);$$

Величина  $\zeta_0$  в каждый момент времени  $t$  определяется как решение алгебраического уравнения:

$$f\left(\zeta_0, \lambda(t), \frac{\lambda(t)Y^*}{\eta(t)}, \frac{y(t)}{p(t)}, r, \Delta\right) = 0.$$

Динамика ссудной задолженности  $L_1(t)$  по краткосрочному кредиту изменяется в соответствии с изменением средней задолженности производителя в терминах модели

$L_1(t) = \hat{L}(\zeta_0, \lambda(t), \eta(t), y(t), r)$ . Функции  $f(\bullet)$ ,  $U(\bullet)$ ,  $\hat{L}(\bullet)$  приведены в [5,8]. Спрос  $S_1(t)$  на продукцию обрабатывающего сектора предъявляют: а) сектора 1-4 для выпуска продукции  $Y_j(t)$

и создания основных фондов  $\sum_{j=1}^4 B_j(t)$ ; б) торговый посредник в объеме  $T_1(t)$ , который поставляет продукцию на оптовый рынок товара; в) государство для создания новых основных фондов  $B_G(t)$ . Таким образом,

$$S_1(t) = \sum_{j=1}^4 a_{1j} Y_j(t) + T_1(t) + \sum_{j=1}^4 B_j(t) + B_G(t),$$

а запас продукции  $Z_1(t)$  изменяется в силу уравнения

$$\frac{dZ_1}{dt} = Y_1(t) - S_1(t).$$

Цена на продукцию формируется исходя из баланса избыточного спроса и предложения:

$$\frac{dp_1}{dt} = \alpha \frac{S_1(t) - Y_1(t)}{Y_1(t)} p_1, \alpha > 0.$$

Осознавая необходимость модернизации производства в условиях дефицита оборотных средств предприятий, государство выдает субсидии и долгосрочные кредиты под льготный процент  $r_D$  в объеме  $D_1(t)$  для финансирования доли  $d_1$  капитальных затрат:

$$D_1(t) = d_1 (p_1(t) B_1(t) - \rho(t) B_1^{im}(t)).$$

Долговые обязательства  $L_D(t)$  по льготным кредитам определяются уравнением:

$$\frac{dL_D(t)}{dt} = D_1(t) + r_D L_D(t).$$

Динамика расчетного счета производителя  $M_1(t)$  определяется доходами и расходами:

$$\frac{dM_1}{dt} = (1-v_1)(1-t_1)[(1-w_1-n_1)(p_1(t)-y_1(t))S_1(t) - r_1 L_1(t) - r_D L_D(t)] + D_1(t) - p_1(t)B_1(t) - \rho(t)B_1^{im}(t),$$

где  $w_1, n_1$  – доли заработной платы и НДС в добавленной стоимости, соответственно;  $t_1$  – налог на прибыль производства;  $v_1$  – доля дивидендов собственникам в чистой прибыли производства.

Производитель поддерживает ненулевой остаток расчетного счета, соответствующий доле  $\theta_1$  капитальных затрат и расходов по кредитам:

$$M_1(t) = \theta_1 [p_1(t)B_1(t) + \rho(t)B_1^{im}(t) + r_1 L_1(t) + r_D L_D(t)].$$

В терминах модели производства с учетом дефицита оборотных средств средний объем по-

купки продукта характеризуется величиной  $\lambda Y^*$ . Будем считать, что частота реализаций продукции  $\lambda$  (параметр пуассоновского процесса) изменяется в силу соотношения:

$$\frac{d\lambda(t)}{dt} = \beta \frac{S_1(t) - \lambda Y^*}{\lambda Y^*}, \beta > 0.$$

Предложенную схему модели предполагается использовать в качестве блока в макроэкономической модели, описывающей эволюцию показателей российской экономики. Данное описание позволит анализировать показатели деятельности секторов и экономики в целом с учетом особенностей обрабатывающих отраслей.

## Литература

1. Петров А.А., Поспелов И.Г., Шананин А.А. От Госплана к неэффективному рынку. Математический анализ российских экономических структур. NY.: The Edwin Mellen Press, Lewinston, 1999. 400 с.
2. Обросова Н.К., Шананин А.А. Исследование альтернативных вариантов развития экономики и энергетики России с помощью математической модели // Математическое моделирование. 2004. т.16. №2. С. 3-22.
3. Обросова Н.К., Рудева А.В., Флерова А.Ю., Шананин А.А. Оценка влияния государственной энергетической политики на переходные процессы в экономике России. М.: ВЦ РАН, 2007. 96с.
4. Obrosova N.K., Shananin A.A. Study of the Bellman equation in a production model with unstable demand // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2014. V.54 N 9. P. 1411-1440..
5. Obrosova N.K., Shananin A.A. Production model in the conditions of unstable demand taking into account the influence of trading infrastructure: Ergodicity and its application // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2015. V.55. N4. P.699-723.
6. Nataliia K. Obrosova, Alexander A. Shananin About an Estimation of Company's Capitalization in the Conditions of Prices Changing. Proceedings of the VIII International Conference on Optimization and Applications (OPTIMA-2017) // CEUR Workshop Proceedings. 2017. V.1987. P. 420-427.
7. Алимов Д.А., Обросова Н.К., Шананин А.А. Моделирование производства в обрабатывающем секторе с учетом дефицита оборотных средств // Труды МФТИ. 2017. Т.9. №3(35). С.105-114.
8. Обросова Н.К., Шананин А.А. Модели производства с учетом дефицита оборотных средств.

О влиянии ожиданий рынка на капитализацию компании // X Всероссийская научная конференция «Математическое моделирование развивающейся экономики, экологии и технологий»,

ЭКОМОД-2016. Электронный ресурс. Сборник материалов конференции. Под ред. И.Г. Поспелова, А.В. Шатрова. Киров: ВятГУ. 2016. С. 42-51.

**Обросова Наталия Кирилловна.** Вычислительный центр им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН, г. Москва, Россия. Ведущий научный сотрудник, доцент. Кандидат физико-математических наук. Количество печатных работ: 54. Область научных интересов: математическое моделирование экономики. e-mail: pobrosova@ya.ru

**Шананин Александр Алексеевич.** Московский физико-технический институт (государственный университет), г. Долгопрудный, Россия. Декан факультета. Доктор физико-математических наук, член-корр. РАН. Количество печатных работ: 190. Область научных интересов: математическое моделирование экономики, обратные задачи, e-mail: alexshan@ya.ru

### Description of processing sector functioning in a macro model of Russian economy

*N.K. Obrosova<sup>1,2</sup>, A.A. Shaninin<sup>1,2,3</sup>*

<sup>1</sup> Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia

<sup>2</sup> Dorodnicyn Computing Centre Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

**Abstract.** We offer the concept of the block of 4-sector macroeconomic model of Russia economy, which describes the processing sector activities in the conditions of a fierce competition with import, current assets deficit and restrictions of trade infrastructure. The description is based on results of a research of a class of production models taking into account current assets deficit and instability of product sales.

**Keywords:** *bellman equation, mathematical models of economy, current assets deficit.*

**DOI:** 10.14357/20790279180215

### References

1. *Petrov I.G., Pospelov I.G., Shaninin A.A.* 1999. Ot Gosplana k neeffektivnomu rinku. Matematicheskij analiz rossijskih ekonomicheskikh struktur. [From Gosplan to Market Economy: Mathematical Analysis of the Russian Economic Structures]. New-York: The Edwin Mellen Press, Lewinston. 400 p.
2. *Obrosova N.K., Shaninin A.A.* 2004. Issledovanie al'ternativnih variantov rasvitiya ekonomiki i energetiki Rossii s pomoschyu matematicheskoy modeli. [Research of alternative variants of development of economy and power industry of Russia by means of mathematical model]. Matematicheskije modelirovanije [Mathematical modeling] 16(2): 3-22.
3. *Obrosova N.K., Rudeva A.V., Flerova A.Yu., Shaninin A.A.* 2007. Ocenka vlijanija gosudarstvennoj energeticheskoj politiki na perehodnije processy v ekonomike Rossii. [An impact assessment of the state energy policy on transition processes in economy of Russia]. Moscow: CCAS of RAS. 96 p.
4. *Obrosova N.K., Shaninin A.A.* 2014. Study of the Bellman equation in a production model with unstable demand. Computational Mathematics and Mathematical Physics 54(9): 1411-1440.
5. *Obrosova N.K., Shaninin A.A.* 2015. Production model in the conditions of unstable demand taking into account the influence of trading infrastructure: Ergodicity and its application. Computational Mathematics and Mathematical Physics 55(4): 699-723.
6. *Nataliia K. Obrosova, Alexander A. Shaninin.* 2017. About an Estimation of Company's Capitalization in the Conditions of Prices Changing. Proceedings of the VIII International Conference on Optimization and Applications (OPTIMA-2017). CEUR Workshop Proceedings 1987: 420-427. urn:nbn:de:0074-1987-8.
7. *Alimov D.A., Obrosova N.K., Shaninin A.A.* 2017. Modelirovanie proizvodstva v obrabativayuschem sektore s uchedom deficit oborotnich sredstv. [Production modeling in processing sector taking into account current assets deficit]. Trudi MFTI [MIPT Proceedings] 9(3(35)): 105-114.

8. *Obrosova N.K., Shaninin A.A.* 2016. Modeli proizvodstva s uschetom deficit oborotnich sredstv. O vlijanii ogidaniy rinka na kapitalizaciju kompanii. [Production models taking into account current assets deficit. About influence of expectations of the market on capitalization of the company]. X Vserossijskaja nauschnaja konferencija “Matematicheskoe modelirovanije rasvivayuchejsja ekonomiki, ekologii i tehnologij” (ECOMOD-2016). Sbornik materialov konferencii. [All-Russian scientific conference “Mathematical Modelling of Developing Economy, Ecology and Technologies”, ECOMOD-2016. Proceedings of conference] Kirov: 42-51. DOI:10.13140/RG.2.1.1767.3201.

**Obrosova N.K.** PhD, Dorodnicyn Computing Centre Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, 119333, 40 Vavilova str., Moscow, Russia, e-mail: nobrosova@ya.ru

**Shaninin A.A.** Professor, Moscow Institute of Physics and Technology, 141701, 9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, Russia