

УДК 331.522: 517.938

**Тарасьев Александр Александрович,**

к.э.н., доцент

заведующий кафедрой,

кафедра анализа систем и принятия решений,

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»

г. Екатеринбург, Российская Федерация

**ОСОБЕННОСТИ РЕПЛИКАТОРНОЙ ДИНАМИКИ В МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ МИГРАЦИИ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ КАДРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ЭКОНОМИЧЕСКИМИ И СОЦИАЛЬНЫМИ ФАКТОРАМИ***Аннотация:*

Разработан методологический подход для оценки развития рынка труда под влиянием неоднородности внешней миграции по возрастному критерию и удовлетворения потребностей рынка в дополнительных трудовых ресурсах. В модели развития рынка труда предложена модифицированная модель, определяющая величину миграционных потоков в условиях общего рынка труда путем введения двух функций для оценки высококвалифицированной трудовой миграции.

*Ключевые слова:*

Рынок труда, репликаторная динамика, динамическое моделирование, модели миграции, поведенческая экономика.

Эффективность распределения и регулирования человеческого капитала напрямую влияет на развитие современных социально-экономических систем. Миграция населения играет жизненно важную роль в перераспределении человеческого капитала между рынками труда, тем самым оптимизируя развитие региональных экономических систем и повышая эффективность местных рынков труда. Кроме того, в связи с глобализацией миграция оказывает существенное влияние на демографические, социальные и экономические аспекты регионов происхождения и притяжения мигрантов. Экономические и социальные факторы в первую очередь стимулируют трудовую миграцию, что приводит к динамичному перемещению в страны и регионы, предлагающие лучшие возможности трудоустройства в формальном секторе экономической системы. Из-за различий в уровнях социально-экономического развития регионов трудовые ресурсы неравномерно распределены по местным рынкам труда, что нарушает экономическое равновесие. Следовательно, существует растущая потребность в разработке и оптимизации программ и проектов, направленных на повышение эффективности миграционных процессов, что подчеркивает важность изучения и моделирования процессов перемещения рабочей силы.

В нынешней социально-экономической системе крайне важно оценить, как миграция влияет на заработную плату и баланс между спросом и предложением квалифицированной рабочей силы на рынке труда. В то же время рынок труда является неотъемлемой частью социальной системы на региональном и федеральном уровнях. Развитие рынка труда напрямую зависит от спроса на рабочую силу и предложения рабочей силы, при этом в процессе функционирования рынка труда в условиях цифрового перехода, благодаря временному равновесию между этими факторами, устанавливается состояние равновесия, выражающееся во взаимозависимости между уровнем занятости на рынке и уровнем заработной платы в определенных сферах рынка. Движение рабочей силы между рынками труда разных стран основано на различии потенциалов национальных экономик и зависит от миграционного потенциала регионов. Состояние миграционного потенциала зависит не только от возможностей регионов отправления, но и от необходимого масштаба и предпочтительной структуры мигрантов для точки притяжения миграции, а также от приемлемых условий их приема. Предполагается, что мобильность населения будет увеличиваться в объеме, становясь более разнообразной по своим социальным и культурным характеристикам. Высококвалифицированная миграция является одним из существенных факторов формирования структуры трудовых ресурсов на территории, при этом подчеркивается как возрастная дифференциация на рынке труда, так и различия в уровне образования и квалификации работников. В результате социальных изменений наблюдается увеличение концентрации международных мигрантов в конкретных центрах инновационного развития.

Благодаря особенностям построения модели и использованию множителя логистической динамики и формирования репликаторной динамики в модели, в результате миграционного тестирования на массивах статистических данных были получены S-образные кривые, отражающие насыщение региональных рынков труда с последующим повышением уровня конкуренции за вакантные рабочие места. Рассмотрим данную задачу для системы из двух регионов и миграционных потоков между ними, что позволит нам сделать вывод о характере графиков, наличии правильных модельных взаимосвязей, точках перегиба и моменте, когда функция достигает

стадии насыщения. Система уравнений имеет специфический вид, который позволяет предположить, что можно получить динамику репликатора в системе с заданными соотношениями между драйверами:

$$\begin{cases} \frac{dx_{12}}{dt} = g_2 \cdot gr \cdot \frac{x_{12} \cdot (u_1 - \sum_{k=1} x_{12}(t)) \cdot (v_2 - \sum_{j=1} x_{12}(t))}{r_{12}} \\ \frac{dx_{21}}{dt} = g_1 \cdot gr \cdot \frac{x_{21} \cdot (u_2 - \sum_{k=1} x_{21}(t)) \cdot (v_1 - \sum_{j=1} x_{21}(t))}{r_{21}} \end{cases}$$

где  $g_1$  и  $g_2$  - коэффициенты миграционной привлекательности региона;  $x_{12}$  – поток трудовых мигрантов из первого региона во второй регион.;  $x_{21}$  – поток трудовых мигрантов из второго региона в первый регион;  $r_{12}$  =  $r_{21}$  – расстояния между регионами;  $u_1$  – количество безработных в первом регионе;  $v_1$  – количество вакансий в первом регионе;  $u_2$  – количество безработных во втором регионе;  $v_2$  – количество вакансий во втором регионе. Основными ограничениями для этих функций являются  $v_1 < u_1$ ,  $v_2 < u_2$ .

Чтобы получить стационарные точки, приравниваем полученную матрицу Якоби к нулю и приводим краткий анализ, подтверждающий наше предположение о наличии динамики репликатора и состояний равновесия по Нэшу в рассматриваемой системе уравнений:

$$\begin{pmatrix} (u_1 - 2 \cdot x_{12}) \cdot (v_2 - x_{12}) & -x_{12} \cdot (u_1 - x_{12}) \\ -x_{21} \cdot (u_2 - x_{21}) & (u_2 - 2 \cdot x_{21}) \cdot (v_1 - x_{21}) \end{pmatrix},$$

Динамика репликатора в этой версии также повторяет базовое поведение с аналогичными условиями для стабильных точек модели. Для рынков труда регионов притяжения была разработана динамическая модель внешней трудовой миграции с учетом возрастной дифференциации. При этом необходимо учитывать специфику возрастных групп рабочей силы и ее классификацию по разным специальностям и получаем подтверждение того, что представленная структура моделирования позволяет учитывать процессы на рынке труда со значительным эффектом масштабирования, что полезно при описании специфики возрастной миграции, академической мобильности, профессиональная мобильность и эффект выхода на пенсию с разбивкой по различным специальностям рынка труда.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Nikonov O.I., Tarasyev A.A. (2015). Dynamic modeling of multi-regional migration processes: Ural federal district case study. IFAC-PapersOnLine, Vol. 28(25), pp. 45-49.
2. Tarasyev A., Usova A., Wang W. (2015). Hamiltonian Trajectories in a Heterogeneous Economic Growth Model for Optimization Resource Productivity, In: IFAC-PapersOnLine, 48(25), 74–79.
3. Tarasyev, A., Zhu, B. (2012). Optimal proportions in growth trends of resource productivity. In Proc. of the 15th IFAC Workshop CAO 12, 45(25), 182–187. Italy.

**Tarasyev Alexander Alexandrovich,**

PhD, associate professor, head of department,  
department of system analysis and decision making,  
Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin,  
Yekaterinburg, Russian Federation

### FEATURES OF REPLICATOR DYNAMICS IN MATHEMATICAL MODELS OF MIGRATION OF QUALIFIED PERSONNEL WITH VARIOUS ECONOMIC AND SOCIAL FACTORS

*Abstract:*

A methodological approach has been developed to assess the development of the labor market under the influence of the heterogeneity of external migration by age criterion and to meet the needs of the market for additional labor resources. We take into account both social and economic factors, which leads to a decision for each potential skilled migrant involved in innovative development. As part of our approach to forecasting the flows of migrant workers within the framework of the labor market development model, we have developed another type of dynamic game model that determines the magnitude of migration flows in the context of the general labor market by introducing two types of functions to assess the wage level of migrants.

*Keywords:*

Labor market, replicator dynamics, dynamic modeling, migration models, behavioral economics.