

# ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

О.И. Никонов, д-р физ.-мат. наук, профессор,  
А.А. Тарасьев, аспирант,  
А.В. Луценко,<sup>1</sup>  
г. Екатеринбург

## ЗАДАЧА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ МИГРАЦИОННЫХ ПОТОКОВ

В статье представлена модель трудовой миграции, описывающая динамику межрегиональных потоков трудовых ресурсов в непрерывном времени. Представленная модификация модели позволяет смоделировать и объяснить динамику миграционных процессов и их экономических эффектов как для регионов притяжения, так и для регионов отправления мигрантов. В результате моделирования миграционных процессов в условиях замкнутой системы получено графическое отображение миграционной ситуации, позволяющее отследить зависимость между динамикой уровней заработной платы в субъектах, задействованных в моделировании, общей численностью рабочей силы в принимающих и отправляющих регионах и соотношению общего числа вакансий и численности безработного населения.

**Ключевые слова:** трудовая миграция; прогноз; экономическая теория миграции; экономические эффекты; динамическое моделирование; миграционная политика; рынок труда.

Миграция населения представляет собой социально-демографический процесс, существенно влияющий на развитие экономических систем регионов, задействованных в миграционных процессах. В последние годы наблюдается постоянно увеличивающаяся мобильность населения. Необходимо подчеркнуть, что в рамках экономических систем регионов миграционные процессы представляют собой прямые и обратные потоки трудовых ресурсов, заданные в динамике. В условиях отсутствия

сдерживающих миграцию барьеров миграционные потоки могут воздействовать на создание или устранение дисбаланса в развитии экономических систем сопряженных регионов, передвигаясь из регионов с менее развитой экономической системой и инфраструктурой в более благополучные регионы.

Межгосударственная и межрегиональная трудовая миграция, подразумевающая вынужденное или добровольное перемещение рабочей силы через государственные и региональные границы, становится широко распространенным явлением. По оценкам экспертов, Россия занимает второе место в мире по численности неофициальных мигрантов [1, 2]. Социально-демографическая ситуация, сложившаяся в России, требует пересмотра роли трудовой миграции в региональном развитии. Миграционные процессы оказывают существенное влияние на качество жизни населения и экономическую ситуацию в регионах России, в то же время последствия неконтролируемой трудовой миграции приводят к необходимости

<sup>1</sup> Никонов Олег Игоревич – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой анализа систем и принятия решений, директор Департамента бизнес-информатики и математического моделирования Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина; e-mail: o.i.nikonov@urfu.ru.

Тарасьев Александр Александрович – аспирант, экономист Центра экономической безопасности Института экономики Уральского отделения РАН; e-mail: alextarassiev@mail.ru.

Луценко Алексей Викторович – доцент кафедры анализа систем и принятия решений Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина; e-mail: o.i.nikonov@urfu.ru.

оценки ее влияния на теневую экономику. Также необходимо учесть, что для трудовых мигрантов наиболее актуально иметь возможность трудоустройства в официальном секторе экономики [3].

Процессы межрегиональной миграции населения оказывают существенное воздействие на развитие демографической и экономической ситуации в регионах Российской Федерации, также наблюдается изменение уровня спроса и предложения рабочей силы на региональных рынках труда. Последствия внутренней миграции весьма противоречивы, что затрудняет принятие управленческих решений, направленных на повышение качества жизни в исследуемых регионах.

Как правило, при моделировании учитываются такие экономические факторы выталкивания и притяжения трудовых ресурсов, как уровень безработицы, общее число вакансий, численность мигрирующего населения в год. Также выбор индивидом определенного региона для миграции напрямую зависит от степени развитости рынка труда и инфраструктуры в данном регионе. На макроэкономическом уровне одним из основных стимулов для миграции является наличие или отсутствие высокооплачиваемой работы и возможности трудоустройства на условиях, являющихся удовлетворительными для индивида. Таким образом, при рассмотрении миграционных процессов между двумя регионами одним из самых сильных выталкивающих факторов является невозможность найти работу; одним из самых сильных факторов притяжения является высокий доход работающего населения в принимающем регионе.

При рассмотрении миграции по возрастному показателю необходимо отметить, что одним из наиболее привлекательных факторов для молодых людей является возможность получения хорошего образования, а впоследствии – хорошо оплачиваемой работы. Также на принятие решения о миграции влияет уровень предоставления

общественных благ, таких как дошкольное воспитание, начальная школа, здравоохранение, низкий уровень преступности и развитость инфраструктуры. Необходимо также отметить связь миграции с демографией. Основные причины миграции, по данным официальной статистики и социологических опросов, связаны с жизненными циклами, т. е. такими событиями в жизни человека, как рождение ребенка, получение образования и его окончание, служба в армии, смена семейного статуса и выход на пенсию. Также важную роль в притяжении-отталкивании трудовых ресурсов играют климатические и другие природные условия, этническая структура, культура и традиции [4].

Миграция сглаживает существующие межрегиональные различия в уровне и качестве жизни. Безработица в крупных городах, как правило, ниже, чем по стране в целом. Поэтому миграция из городов с большей безработицей в города с более низкой позволяет уравновесить рынки труда. Также миграция населения реагирует на межрегиональную дифференциацию в доходах [5].

Одним из немаловажных факторов увеличения потока трудовых мигрантов в регион являются миграционные сети. Миграционные сети представляют собой набор межличностных связей, которые соединяют мигрантов, бывших мигрантов и немигрантов между собой посредством отношений родства, дружбы и общего социального происхождения. Миграционные сети упрощают распространение информации об условиях жизни в разных странах и регионах, что обеспечивает повышение вероятности трудоустройства. В то же время при достижении миграционными сетями определенного уровня развития миграция приобретает характер самоподдерживающегося процесса. Переход от индивидуальной независимости при принятии решения о миграции к групповой взаимозависимости, выгодной для всех ее участников, был совершен в рамках

новой экономической теории миграции. Согласно этой теории решение принимается потенциальным мигрантом совместно с другими членами его семьи, которые не меняют места работы и жительства. Целью миграции становится максимизация доходов не отдельного человека, а сообщества людей, которые будут делить между собой как расходы, так и доходы от миграции одного члена сообщества [6]. Также в новой экономической теории миграции подчеркивается значимость такого фактора, как уровень доходов окружения семьи. Неудовлетворенность свои социальным положением на родине может побудить членов семьи к миграции с целью увеличения доходов [7]. В нашей работе влияние миграционных сетей на систему миграции определяется с помощью показателя  $x_{jk}(t_s)$ .

Поскольку в нашей работе поставлена задача разработки математической модели для объяснения динамики межрегиональных миграционных потоков и их воздействия на развитие региональных рынков труда, рассмотрим миграционные процессы в рамках либеральной модели развития. Либеральная или космополитическая модель, ориентированная на общедемократические ценности, основана на парадигме прав человека, которая утверждает приоритет прав человека над правами гражданина. Право на свободное передвижение является одним из основных прав человека в демократическом обществе [8]. Либеральная модель развития предполагает устранение всех препятствий для мобильности трудовых ресурсов, что наиболее ярко отражает как экономические, так и социально-демографические составляющие межрегиональной миграции населения.

Актуальность задачи моделирования межрегиональных миграционных потоков определяется возникновением новых тенденций в миграции, вызванных процессом реформирования российского общества. Процесс трудовой миграции слабо контролируется государством, вследствие чего по-

вышается доля трудящихся, занятых в теневом секторе экономике. В настоящем исследовании предлагается динамическая модель, основанная на следующих принципах. Модель является синтетической конструкцией и соединяет «гравитационную модель», представленную в работе К. Кумо, задачу оптимизации транспортных потоков и элементы логистической динамики роста населения Ферхюльста. Модель разделена на две части и отражает движение населения как из Свердловской области в субъекты Уральского федерального округа, так и из субъектов УрФО в Свердловскую область. В процессе моделирования задействованы данные по уровню безработицы, количеству рабочих мест, межрегиональным потокам миграции. Для моделирования прогноза используются такие показатели, как средняя заработная плата, уровень преступности, качество жизни в целом по субъектам федерального округа. Перечисленные параметры были объединены в степенной функции Кобба – Дугласа.

Логистическое уравнение, также известное, как уравнение Ферхюльста, изначально появилось при рассмотрении модели роста численности населения. При обозначении через  $P$  численности населения и через  $t$  времени, модель сводится к дифференциальному уравнению:

$$P(t_{s+1}) = P(t_s) + r \cdot P(t_s) \cdot \left(1 - \frac{P(t_s)}{L}\right), \quad (1)$$

где параметр  $r$  характеризует скорость роста (размножения), а  $L$  – емкость среды (то есть максимально возможную численность населения).

Модель гравитации Кумо в общем виде [9] представлена следующим образом:

$$M_{ij} = g \cdot \frac{P_i^\alpha \cdot P_j^\beta}{D_{ij}^\delta}, \quad (2)$$

где  $M_{ij}$  – число мигрантов из области  $i$  в область  $j$ ;

$g$  – коэффициент гравитации;

$P_i$  – население области  $i$ ;

$P_j$  – население области  $j$ ;

$D_{ij}$  – расстояние между областью  $i$  и областью  $j$ .

Результатом моделирования являются траектории, описывающие динамику миграционных потоков, оценка изменения трендов этих траекторий и возможность прогнозирования. Поскольку используется такой коэффициент, как множитель логистической динамики, можно с уверенностью говорить о том, что графическое изображение прогноза будет выполнено в виде  $S$ -образной кривой. Если рассматривать графический результат моделирования, то можно проследивать динамику насыщения уровня вакансий в рассматриваемом субъекте потоками мигрирующего населения. Процесс миграции идет с ускорением до определенной точки, называемой точкой перегиба. После прохождения указанной точки процесс миграции идет с замедлением и в конечном итоге насыщается на определенном равновесном уровне.

При построении прогноза движения населения из определенной области в субъекты региона используется следующая формула:

$$x_{jk}(t_{s+1}) = \frac{g \cdot x_{jk}(t_s) \cdot (b_j - \sum_{k=1} (x_{jk}(t_s)) \cdot (\alpha_k - \sum_{j=1} (x_{jk}(t_s))))}{r_{jk}}, \quad (3)$$

где  $x_{jk}(t_s)$  – поток из субъекта  $j$  в субъект  $k$ ;  
 $j = 1, \dots; k = 1, \dots;$

$g$  – коэффициент «популярности» региона для миграции, вычисленный с помощью функции Кобба – Дугласа;

$b_j$  – отдающий пункт (число безработных в заданной области);

$\alpha_k$  – принимающий пункт (число вакансий в субъектах федерального округа);

$g \cdot x_{jk}(t_s)$  – множитель логистической динамики.

Если рассматривать миграцию населения из субъектов региона в определенную область, то формула меняется следующим образом:

$$x_{jk}(t_{s+1}) = \frac{x_{jk}(t_s) \cdot (b_j - \sum_{k=1} (x_{jk}(t_s)) \cdot (\alpha_k - \sum_{j=1} (x_{jk}(t_s))))}{g \cdot r_{jk}}. \quad (4)$$

В данном случае также меняются обозначения:

$b_j$  – принимающий пункт (число рабочих мест в интересующей нас области);

$\alpha_k$  – отдающий пункт (число безработных в субъектах области);

В случае существенной удаленности субъектов один от другого расстояние становится одним из результирующих факторов, зависимость обратно пропорциональна: чем больше расстояние, тем меньше вероятность исхода рабочих мигрантов в данный субъект.

Универсальность приведенной модели заключается в том, что можно указать любое количество отдающих и принимающих пунктов и связей между ними. Также может быть учтено большое количество коэффициентов, описывающих макроэкономические показатели регионов: состояние окружающей среды, общее качество жизни, уровень преступности, средние заработные платы населения, расстояние, покупательная способность денежных доходов.

Данная модель была апробирована на данных по миграции населения с 2009 по 2012 год. Приведенные ниже графики отражают динамику миграционных потоков между Свердловской областью и субъектами УрФО. Как и предполагалось при составлении основного уравнения модели, отражающего динамику движения миграционных потоков, кривые, отражающие миграционные потоки, имеют вид  $S$ -кривых, выходящих на насыщение за краткосрочный период. Такой характер графиков объясняется в первую очередь тем фактом, что в условиях замкнутой системы, предлагаемой в рамках объясняющей модели, рынки труда регионов, участвующих в миграционных процессах, выходят на уровень насыщения, что предполагает несущественные колебания графиков на конечном отрезке прогноза.

Итоговой точкой моделирования стали траектории, описывающие миграцию населения, на основе которых был составлен краткосрочный прогноз движения миграционных потоков. Как видно из графической

интерпретации моделирования, наиболее привлекательными для миграции из Свердловской области являются Челябинская область и Ханты-Мансийский автономный округ. Число вакансий в Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономных округах близко к насыщению, соответственно наблюдается тенденция постепенного сокращения масштаба миграции в этом направлении. Как показывает индикативный анализ и прогнозирование с использова-

нием динамической модели, Свердловская, Челябинская и Тюменская области отличаются постоянным положительным уровнем миграционного прироста, т. е. являются наиболее предпочтительными для трудовых мигрантов как наиболее экономически развитые и стабильные субъекты. Таким образом, на территории УрФО наблюдается отток из неблагоприятных регионов в более успешные, который будет продолжаться в условиях рыночных отношений до тех пор,

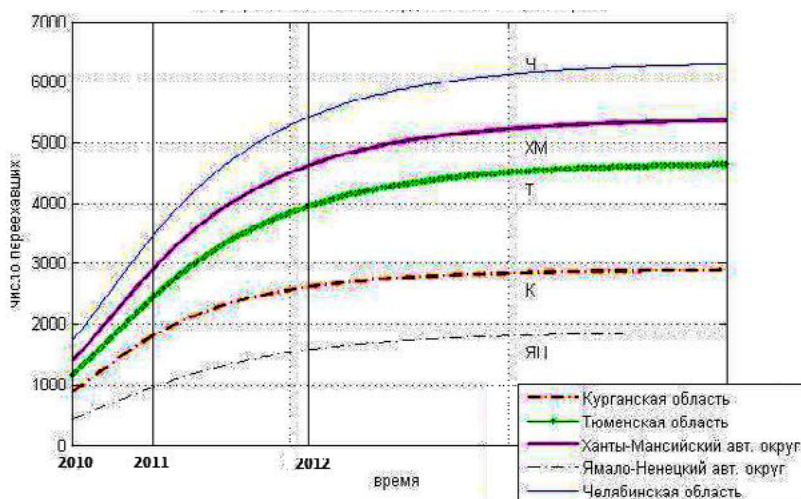


Рис. 1. Миграция населения из Свердловской области в УрФО

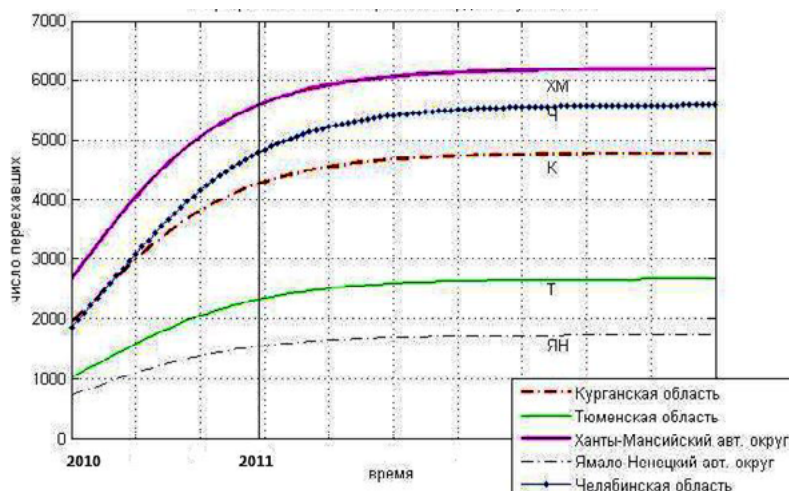


Рис. 2. Миграция населения в УрФО из Свердловской области

пока не будут сокращены диспропорции в социально-экономическом развитии между регионами России. В современной России важной движущей силой миграции является спрос на труд в крупных городах, он стимулирует не только миграцию в пределах регионов, но и между отдельными частями страны. Расширение предложения на рынке труда в наименее социально-экономически развитых регионах позволит сократить неравномерность миграционных потоков и обезлюдение, что создаст благоприятные предпосылки для развития территории.

При моделировании используются текущие данные по уровню безработицы. В дальнейших исследованиях планируется разработка модели в плане построения функций прогноза уровня безработицы и вакансий и включение этих показателей в модель в качестве временных функций. Такая модификация позволит существенно улучшить качество модельного про-

гнозирования. Задание в динамике исходных параметров, учитываемых в модели, предполагаемое в дальнейшей работе, позволит увеличить временной интервал прогноза с условием сохранения точности прогнозирования на уровне 97 %, в то же время предполагается, что система, описываемая в данной модели, будет иметь характер саморегулирующейся. Также в дальнейших исследованиях планируется разработка модели в направлении построения функций прогноза уровня безработицы и вакансий и включение этих показателей в модель в качестве временных функций. Такая модификация позволит существенно улучшить качество модельного прогнозирования. Также предполагается создания модели с элементами агенториентированного моделирования для оценки влияния миграционных сетей на динамику межрегиональных миграционных потоков.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Доклад о развитии человеческого потенциала в Российской Федерации за 2008 год «Россия перед лицом демографических вызовов» / А.Г. Вишневский, С.Н. Бобылев и др. М.: ПРООН, 2009. 208 с.
2. Fasani F. Deporting undocumented immigrants: The role of labor demand shocks. Mimeo, University College London. 2009.
3. Найдёнов А.С., Кривенко И.А. Влияние административных барьеров и институциональной среды на динамику теневого сектора экономики // Вестн. Томск. гос. ун-та. 2013. № 377. С. 117–122.
4. Андриенко Ю.В., Гуриев С.М. Разработка модели внутренних и внешних миграционных потоков населения для регионов Российской Федерации. М.: Центр эконом. и финанс. исследований и разработок в Рос. эконом. школе. 2006. 52 с.
5. Вакуленко Е.С. Миграционные процессы в городах России: эконометрический анализ // Прикладная эконометрика. 2012. № 1. С. 25–50.
6. Palloni A., Massey D. et al. Social capital and international migration: a test using information on family networks // The American Journal of Sociology. Chicago. March 2001. № 106. С. 1262–1298.
7. Магомедова А.Г. Экономико-демографические аспекты внешней миграции в России : сборник статей / гл. ред. В.А. Ионцев. М.: ТЕИС, 2006. 128 с.
8. Всеобщая декларация прав человека (принята Генеральной Ассамблеей ООН 10.12.1948). [Электронный ресурс] // Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
9. Kumo K. Inter-regional Population Migration in Russia: Using an Origin-to-Destination Matrix. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ier.hit-u.ac.jp/>.