

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТРАН  
В СЕТИ МЕЖДУНАРОДНОЙ МИГРАЦИИ /  
Ф.Т. Алескеров, Н.Г. Мещерякова,  
А.Н. Резяпова, С.В. Швыдун\***

*Аннотация.* В работе рассматривается применение сетевого подхода к проблеме международной миграции. Международная миграция может быть представлена в качестве сети (или взвешенного орграфа), в которой вершинами являются страны, а ребрам соответствуют миграционные потоки между ними. Основной целью исследования является выявление набора ключевых элементов в сети. Для этого рассчитаны классические индексы центральности и разработаны собст-

---

\* **Алескеров Фуад Тагиевич**, доктор технических наук, ординарный профессор, заведующий Международной научно-учебной лабораторией анализа и выбора решений НИУ ВШЭ, руководитель департамента математики факультета экономических наук НИУ ВШЭ, заведующий лабораторией ИПУ РАН, e-mail: alesk@hse.ru; **Мещерякова Наталья Геннадьевна**, студентка, стажер-исследователь Международной научно-учебной лаборатории анализа и выбора решений НИУ ВШЭ, техник Института проблем управления РАН, e-mail: natamesc@gmail.com; **Резяпова Анна Николаевна**, студентка, стажер-исследователь Международной научно-учебной лаборатории анализа и выбора решений НИУ ВШЭ, e-mail: annrezyarova@gmail.com; **Швыдун Сергей Владимирович**, стажер-исследователь Международной научно-учебной лаборатории анализа и выбора решений НИУ ВШЭ, младший научный сотрудник Института проблем управления РАН, shvydun@hse.ru;

**Aleskerov Fuad**, National Research University Higher School of Economics (Moscow, Russia), Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia), e-mail: alesk@hse.ru; **Meshcheryakova Natalia**, National Research University Higher School of Economics (Moscow, Russia), Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia), e-mail: natamesc@gmail.com; **Rezyarova Anna**, National Research University Higher School of Economics (Moscow, Russia), e-mail: annrezyarova@gmail.com; **Shvydun Sergey**, National Research University Higher School of Economics (Moscow, Russia), Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia), e-mail: shvydun@hse.ru.

венные индексы дальних взаимодействий (LRIC). В основу исследования положены данные Организации Объединенных Наций (ООН) о ежегодных миграционных потоках между странами (версии 2008, 2015).

*Ключевые слова:* международная миграция; сетевой анализ; влияние.

### **An analysis of countries' influence through international migration network /**

**F.T. Aleskerov, N.G. Meshcheryakova, A.N. Rezykova, S.V. Shvydun**

*Abstract.* The study employs the network approach to the problem of international migration. The international migration is represented as a network (or weighted-directed graph) where the nodes correspond to countries and the edges correspond to migration flows. The study reveals a set of critical or central elements in the network. Various existing centrality measures were calculated and several long-range interaction centrality (LRIC) were designed. The results are based on the United Nations International Migration Flows Database (version 2008, 2015) that provides the annual dyadic estimates of migration flows between countries.

*Keywords:* international migration; network analysis; influence.

## **Введение**

Роль международной миграции в настоящее время неуклонно возрастает. Согласно последнему отчету Генерального секретаря Организации Объединенных Наций (ООН) численность международных мигрантов в мире растет быстрее, чем мировое население: «По прогнозу, численность населения мира в обозримом будущем продолжит расти и, как ожидается, достигнет к 2050 г. 9,7 млрд человек. Если доля международных мигрантов останется постоянной, то к 2050 г. их численность во всем мире достигнет 321 млн. человек» [In safety... 2016]. Из всего вышесказанного следует, что международная миграция – сфера, требующая новых научных теорий и политических стратегий для решения задач, стоящих как перед принимающими, так и перед отправляющими странами.

Теория международной миграции имеет длинную историю развития, начиная с Адама Смита в XVIII в. [см.: Smith, 1976]. С того времени появилось значительное количество работ, объясняющих причины и последствия международной миграции.

Новым подходом для анализа потоков международной миграции выступает сетевой анализ, который позволяет представить

страны, вовлеченные в процесс международной миграции, в виде графа, в котором вершины – страны, а ребра – потоки миграции между ними. Данный подход помогает отобразить потоки миграции между любыми двумя странами как неотъемлемую часть всей сети стран, а также показать, как изменения в одном потоке могут сказаться на потоках между другими странами.

Цель нашей работы – обнаружение стран, имеющих наибольшую важность в сети международной миграции. Для этого была произведена оценка классических и новых индексов центральности. Классические индексы центральности являются фундаментальным атрибутом в сетевом анализе и имеют большое значение для отражения наиболее многочисленных потоков миграции в мире, произошедших за определенный период. Тем не менее существует потребность в том, чтобы учесть не прямое влияние в сети и характеристики вершин. Для этого в нашей работе применяются индексы ближних и дальних взаимодействий, которые учитывают не прямые взаимодействия в сети и население принимающей страны в качестве характеристики вершины.

### **Обзор литературы**

Миграция является одним из фундаментальных процессов, который затрагивает различные стороны жизни человека и общества в целом. Поэтому изучением миграции занимались в различных областях науки: в экономике, в статистике, в демографии, социологии и математике. Литературу, на которую опирается наша работа, можно разделить на две категории: теории, которые рассматривают миграцию на уровне страны и между двумя странами и применение сетевого подхода к объяснению потоков миграции.

Для начала рассмотрим наиболее ранние работы и их вклад в изучение миграции. Стоит отметить, что список работ основан на обзоре теорий миграции в справочнике по экономике международной миграции [Migration and remittances, 2015].

Примечательно, что одним из первых ученых, обративших внимание на данный процесс, был Адам Смит [см.: Smith, 1976]. Основная причина миграции, согласно гипотезе А. Смита, состояла в том, что в различных регионах разница между оплатой труда в сельской и городской местности превышала разницу в ценах на

товары, поэтому люди переезжали в город. Он также сравнивал потоки миграции с торговыми потоками и пришел к выводу, что торговля более интенсивна, чем миграция, так как у миграции больше барьеров: «man is of all sorts of luggage the most difficult to be transported» [Smith, 1976].

Наиболее известной теорией, предложенной после Адама Смита, были «Законы» миграции Равенштайна [Ravenstein, 1889]. Данная теория была основана на данных Британской переписи населения, миграционной статистике и данных о естественном движении населения. Все эмпирические наблюдения Равенштайн сформулировал в виде перечня из 11 законов, которым подчиняется миграция населения. Приведем тезисы, наиболее актуальные для нашего исследования: 1) большинство мигрантов перемещаются на короткие расстояния, 2) быстро растущие города населены мигрантами из ближайших сельских местностей, а дефицит, образующийся в сельской местности, заполняется людьми из еще более отдаленных территорий, 3) крупная волна миграции образует компенсирующую контрволну.

Важное место в моделировании миграции занимает гравитационная теория, применяющая закон о гравитационном притяжении между двумя телами Ньютона к миграции населения между двумя странами. Ципф [Zipf, 1946] предложил данную теорию в терминах населения стран назначения и происхождения мигранта и расстояния между ними. Гипотеза состоит в том, что объем миграции между двумя территориями прямо пропорционален населению этих территорий и обратно пропорционален расстоянию между ними:

$$Y = P_1 * P_2 / D_{12},$$

где  $P_1$  – население в стране происхождения,  $P_2$  – население в стране назначения,  $D$  – расстояние между странами.

Интерпретация данной гипотезы довольно проста: обратная зависимость от расстояния объясняется тем, что с увеличением дистанции путешествие становится дорогим, влечет большие затраты, а прямая зависимость от населения страны отправления объясняется тем, что в стране есть часть населения, которая склонна к миграции, а с увеличением населения количество людей, склонных к миграции, возрастает. С увеличением населения страны назначения увеличивается количество рабочих мест и воз-

возможностей, что делает страну более привлекательной для иммигрантов.

Гравитационные модели получили широкое распространение после работы Дж. Тинбергена [Tinbergen, 1962] для моделирования международных потоков торговли. В этом случае, как правило, вместо населения берут ВВП двух стран. Данные модели применяются и сейчас для объяснения потоков миграции, например, в работе Траноса [Tranos, 2015], которая будет рассмотрена позднее.

Причины миграции объясняет теория push-pull факторов [Lee, 1966]. Согласно данной теории, существует четыре группы факторов, влияющих на уровень миграции между двумя странами: притягивающие (pull factors) и выталкивающие факторы (push factors), которыми обладают как страна назначения, так и страна происхождения мигранта, также есть личные факторы (personal factors) и промежуточные препятствия (intervening obstacles). В качестве притягивающих факторов страны назначения могут выступать, например, высокая заработная плата, наличие рабочих мест, высокий размер социальных пособий, стабильная политическая обстановка, благоприятные климатические условия. Напротив, низкая заработная плата, безработица и наличие конфликтов являются выталкивающими факторами в отправляющей стране. Личные факторы индивидуальны для каждого мигранта и могут быть совершенно разными, а промежуточными препятствиями могут быть большое расстояние между странами и особенности миграционного законодательства.

Миграция с экономической точки зрения – это индивидуальное инвестиционное решение, которое увеличивает продуктивность человеческого капитала [Sjaastad, 1962]. Данная теория была первой попыткой применения теории человеческого капитала к изучению миграции. Идея состоит в том, что мигрант выбирает местожительство, которое принесет ему максимальную чистую доходность от имеющегося у него человеческого капитала. Таким образом задача сводится к максимизации индивидуумом прибыли от миграции ( $\pi$ ) из региона А в регион В в каждый момент времени. Предполагается, что существуют различия в зарплате между регионами и что индивид выйдет на пенсию в течение  $T$  периодов. Тогда в дискретном времени прибыль от миграции вычисляется по следующей формуле:

$$\pi = \sum_{t=1}^T \frac{(W_t^B - W_t^A)}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{(CL_t^B - CL_t^A)}{(1+i)^t} - C(D, X),$$

а в непрерывном:

$$\pi = \int_{t=0}^T [W_t^B - W_t^A - CL_t^B + CL_t^A] e^{rt} dt - C(D, X),$$

где  $W_t^B$  и  $W_t^A$  – заработок в регионе назначения и происхождения мигранта соответственно,  $CL_t^B$  и  $CL_t^A$  – стоимость жизни в регионе В и А соответственно,  $i$  – ставка дисконтирования,  $C$  – издержки миграции из А в В, которые зависят от расстояния между регионами ( $D$ ) и других факторов, влияющих на издержки ( $X$ ). Как в дискретном, так и в непрерывном времени индивид принимает решение мигрировать из региона А в В только в том случае, если  $\pi > 0$ .

Модель человеческого капитала послужила основой для многих современных моделей, объясняющих причины миграции. Более поздние модели учитывают большее количество факторов, влияющих на миграцию, таких как наличие родственных связей в стране назначения [Yap, 1977], рассматривая семью в качестве единицы анализа [Mincer, 1978], возраст мигранта [Polachek, Horvath, 1977], денежные переводы мигрантов [Brown, 2015]. С более подробным анализом теорий миграции можно ознакомиться в [Handbook of Economics... 2015].

Теории, описанные выше, рассматривают миграцию на разных уровнях: на макроуровне (между странами, регионами), на микроуровне (индивидуума). Однако их объединяет то, что миграция является двусторонним процессом и миграционные потоки между любыми двумя странами существуют независимо от потоков между другими странами.

Однако процесс миграции сложен, и уровень миграции между двумя странами может зависеть не только от факторов, относящихся к этим странам, но и от потоков миграции между другими странами. При сетевом подходе совокупность стран – это не совокупность независимых единиц, а сеть, в которой все страны связаны через потоки мигрантов. Миграция моделируется как граф, в

котором узлами являются страны, а ребрами – численность мигрантов или потоки мигрантов между ними.

В работе [Fagiolo, Mastroiello, 2012] было представлено применение сетевого подхода к миграции на основе базы данных Всемирного банка о международной миграции [Global Bilateral Migration Database] по каждому десятилетию за период с 1960 по 2000 г. База данных содержит информацию о численности иностранного населения в 226 странах.

В данном исследовании сеть международной миграции моделируется как взвешенный направленный граф, в котором узлами являются страны, а ребра соответствуют численности мигрантов. Интересные результаты были получены на основе анализа бинарных и взвешенных характеристик сети, кластерного анализа на основе структуры сети и построения гравитационных моделей.

Анализ взвешенных характеристик сети показал, что численность мигрантов с 1960 по 2000 г. увеличилась. К тому же количество взаимосвязей в сети также увеличилось, страны стали более взаимосвязаны через потоки международной миграции, что в целом соответствует трендам международной миграции [International migration report... 2015].

Сеть международной миграции характеризовалась ярко выраженной кластеризацией. Были сформированы следующие кластеры: азиатский и южноафриканский, страны бывшего СССР, европейские страны и Америка. Еще одно свойство, которым характеризовалась сеть международной миграции в данной работе, состояло в том, что страны с малой численностью мигрантов наиболее вероятно будут связаны со странами с большим количеством мигрантов. Иными словами, существуют устоявшиеся страны происхождения и назначения мигрантов.

Результаты построения линейной регрессии и гравитационных моделей обнаружили тот факт, что социальные, политические и географические факторы имеют большее значение для объяснения потоков миграции между странами, чем локальные характеристики сети.

В целом в работе [Fagiolo, Mastroiello, 2012] представлено фундаментальное исследование международной миграции с помощью применения сетевого анализа, результаты которого находят значимые эмпирические подтверждения. Однако кроме статистики о численности мигрантов существуют также данные о

потоках мигрантов, прибывающих в страны в определенные промежутки времени. В нашей работе мы используем базу данных о потоках международной миграции, предоставленную Организацией Объединенных Наций (ООН) [International migration flows...].

Более ранние теории помогают сформировать понимание базовых факторов, влияющих на миграцию, что необходимо для анализа современной международной миграции. Последние исследования показывают, что международная миграция стала более сложным процессом, в котором развиваются новые взаимосвязи между странами, а существующие усиливаются. Изменения в международной мобильности могут иметь колоссальные последствия для мирового сообщества. Поэтому при изучении международной миграции большую актуальность имеет сетевой анализ, который помогает обнаружить страны, имеющие наибольшее влияние в сети международной миграции.

### Данные

Данные по международной миграции, как правило, представлены двумя статистическими показателями: численность мигрантов и потоки миграции. Миграционный поток соответствует числу людей, прибывших в страну или выбывших из нее за определенный временной промежуток. Численность мигрантов – это общее число людей, проживающих в стране, отличной от страны их постоянного проживания в определенный момент времени. Ключевое отличие этих показателей состоит в том, что численность мигрантов – это накопленный показатель, а статистика по потокам мигрантов отражает факт иммиграции или эмиграции.

В нашей работе мы используем данные по потокам мигрантов, собранные отделом народонаселения ООН последней версии [International migration flows...]. База данных основана на миграционной статистике стран, предоставивших данные по входящим и исходящим потокам мигрантов за определенные временные промежутки. В базе данных представлена информация о потоках миграции с 1980 по 2013 г., предоставленная 45 странами. Наша работа основана на данных за 2013 г. Список стран, предоставивших статистику по притоку и оттоку мигрантов за данный период, приведен в Приложении 1.

Под международным мигрантом понимается любое лицо, изменившее страну своего обычного проживания. Однако миллионы людей регулярно пересекают международные границы: туристы, временные мигранты, сезонные рабочие. Для того чтобы исключить их из международной миграционной статистики, страны применяют временной критерий – минимальное время нахождения в стране назначения. Существуют следующие временные критерии: постоянное место жительства, ожидаемое время пребывания не менее одного года, шести месяцев, три месяца, некоторые страны используют другие критерии либо не используют никаких.

Миграционные службы различных стран применяют три разных критерия для определения страны происхождения / назначения мигранта: 1) страна предыдущего / последующего проживания (Residence), 2) гражданство (Citizenship), 3) место рождения (Place of Birth). Распределение стран по данному критерию представлено в таблице ниже (таблица 1).

Таблица 1

### Распределение стран по критерию для страны происхождения

	Приток	Отток
Гражданство	36	37
Страна предыдущего проживания	43	44
Место рождения	1	-

Большинство стран используют критерий по месту предыдущего проживания мигранта. В списке этих стран отсутствуют США и Канада, где применяются критерии только по месту рождения и гражданству соответственно.

Важно, чтобы критерии по стране происхождения были одинаковыми для тех стран, для которых это возможно. Поэтому в качестве предпочтительного критерия был выбран Residence, потому что он дает представление о стране проживания мигранта, и по нему больше всего данных. Для тех случаев, когда есть информация по критерию Residence и по другому критерию, предпочтение отдается критерию Residence.

Как было описано выше, данные содержат статистику по миграции, собранную 45 странами, в которых критерии для определения страны происхождения мигранта различаются, поэтому

если данные по одному и тому же потоку предоставляют несколько стран одновременно, иногда возникают расхождения в данных, а также потоки, в которых страна назначения и страна происхождения мигранта совпадают (петли в терминах сетевого анализа).

Рассмотрим петли в потоках мигрантов и причины их возникновения. Для большинства стран, по которым есть объяснения в документации к данным, например Швеции, Испании, подобные случаи объясняются тем, что страна происхождения мигранта определялась по его гражданству и в петли попали люди, вернувшиеся в страну, гражданами которой они и являются. В данном случае эта информация не представляет для нас ценности, потому что ничего не говорит о стране, из которой приехал мигрант. Другой пример: для данных Австралии петли – это миграция между Австралией и ее внешними островными территориями. В мировом масштабе такие перемещения допустимо считать внутренней миграцией, поэтому эти данные также не информативны. Остальные страны не представляют объяснений подобным случаям, будем считать, что для них петли объясняются одним из названных выше способов. Из этого можно сделать вывод, что случаи совпадения страны происхождения и назначения из наблюдений можно исключить, так как на их основе нельзя сделать каких-либо содержательных выводов.

Также в данных наблюдалось небольшое количество расхождений: всего из 6045 наблюдений за 2013 г. в 283 данные по одному и тому же потоку, предоставленные разными странами, не совпадали. Для всех этих случаев было взято среднее значение миграционного потока между странами.

В международных сравнениях в миграции всегда существует определенная погрешность в статистике, так как у всех стран различные методы сбора данных, различные критерии для определения мигрантов, их страны происхождения. Описанные выше меры должны помочь сделать данные более сопоставимыми, а анализ более точным.

### **Индексы центральности**

Международная миграция обычно характеризуется такими простыми показателями, как приток и отток мигрантов, чистый и валовый миграционный приток. Данные показатели являются ба-

зовыми и необходимыми для многих стран в реализации миграционной политики. Тем не менее международная миграция формирует сеть стран, взаимосвязанных через потоки миграции. Поэтому в нашем анализе международная миграция представлена в виде графа, в котором вершинами являются страны, а ребрами – потоки миграции между ними.

В нашей работе представлен сетевой анализ международной миграции с помощью вычисления индексов центральности. Основная цель данного подхода состоит в ранжировании стран на основе важности их роли в процессе международной миграции.

Во-первых, потоки международной миграции оцениваются с помощью классических индексов центральности. Во-вторых, предложено использование новых индексов центральности, обладающих определенными преимуществами по сравнению с классическими индексами.

### *Классические индексы центральности*

Анализ производится с помощью вычисления следующих классических индексов центральности: *weighted degree*, *closeness*, *eigenvector* и *PageRank*.

Центральность *weighted degree* в нашем случае имеет четыре формы: *weighted in-degree*, *weighted out-degree*, *weighted degree difference* (=weighted in-degree – weighted out-degree) и *weighted degree* [Freeman, 1979]. Центральность *weighted in-degree* (WInDeg) соответствует числу входящих стрелок с учетом весов на ребрах, а в терминах миграции – числу приехавших мигрантов. *Weighted out-degree* (WOutDeg) представляет собой число исходящих стрелок с учетом весов на ребрах, соответственно число эмигрантов. *Weighted Degree Difference* (WDegDiff) – это разница между притоком или оттоком мигрантов или чистый миграционный приток. *Weighted Degree* (WDeg) соответствует сумме миграционного притока и оттока, т.е. валовой миграции для каждой страны. Перечисленные выше индексы центральности дают базовое понимание процесса международной миграции: информацию о притоке и оттоке мигрантов, чистой и валовой миграции.

Индекс центральности *closeness* (Clos) [Bavelas, 1950] в сети международной миграции показывает, насколько близко страна

расположена к крупным потокам миграции. Данная мера характеризуется тем, что учитывает только короткие пути между вершинами, а также она чувствительна к изменениям в структуре сети: небольшие изменения могут привести к значительным изменениям в рейтинге стран по данному индексу. Также страны с высоким значением *closeness* не обязательно имеют большой приток или отток мигрантов. Данный индекс предоставляет информацию о потенциальном миграционном потоке для конкретной страны с помощью оценивания ее близости к большим потокам миграции. Страны с низким значением *closeness*, как правило, незначительно вовлечены в процесс международной миграции.

Центральность *Eigenvector* [Bonacich, 1972] и ее аналог *PageRank* [Brin, Page, 1998] основаны на идее о том, что определенная вершина в сети имеет большую важность, если соседние страны имеют большую важность. В сети международной миграции эти индексы выделяют страны – центры международной миграции, а также те страны, которые напрямую связаны с ними через потоки миграции.

### *Индексы ближних и дальних взаимодействий*

Индексы ближних и дальних взаимодействий, в отличие от классических индексов центральности, учитывают население страны назначения мигранта, а также не прямое влияние стран в сети.

Важно учитывать не прямые взаимодействия в сети миграции по следующим причинам. Во-первых, мигранты из страны А могут попадать в страну В не напрямую, а используя более длинные маршруты. В данном случае необходимо определить страну с максимальным непрямым влиянием в сети, т.е. исходную страну, генерирующую потоки миграции. Во-вторых, тесные взаимосвязи между странами в сети международной миграции приводят к тому, что потоки миграции между двумя странами могут привести к появлению потоков между другими странами. В данном случае потоки миграции необязательно состоят из одних и тех же людей, так как не учитываются различные характеристики мигрантов (национальность, пол и др.). Оба случая возможны при анализе взаимодействий в сети миграции, поэтому не прямое влияние играет важную роль в данном анализе.

Индекс ближних взаимодействий (*Short-Range Interaction Centrality Index, SRIC*) основан на идее, которая была впервые предложена в работе [Aleskerov, 2006] для анализа влияния в парламенте. Ключевое отличие данного индекса от классических индексов центральности состоит в том, что он учитывает не прямое влияние в сети и население принимающей страны.

Население принимающей страны учитывается через введение квоты по населению, которую мы предлагаем установить на уровне 0,1% от населения принимающей страны. Если потоки мигрантов из страны А в страну В составляют менее 0,1% от населения страны В, значит, страна А не имеет влияния на страну В через потоки мигрантов.

Группа стран, общее число мигрантов в которой превышает квоту по населению принимающей страны или равно ей, образует критическую группу страны. Страна является ключевой в группе, если без этой страны группа перестает быть критической. Интенсивность взаимосвязи вычисляется по следующей формуле:

$$f(b, w_a) = \frac{p_{ba} + p'_{ba}}{|w_a|},$$

где  $w_a$  – критическая группа стран по отношению к стране А (страна назначения), в которой страна В (отправляющая страна) является ключевой,  $p_{ba}$  – общее число мигрантов, приехавших из страны В в страну А напрямую, а  $p'_{ba}$  – общее число мигрантов, попавших из страны В в страну А не напрямую, а через другие страны. Примеры непрямого взаимодействия между странами представлены на рисунке.

Как видно на графе выше, существует четыре способа попадания из А в В<sub>3</sub>: 1) напрямую – А-В<sub>3</sub>, 2) А-В<sub>1</sub>-В<sub>3</sub>, 3) А-В<sub>2</sub>-В<sub>3</sub> и 4) А-В<sub>1</sub>-В<sub>4</sub>-В<sub>2</sub>-В<sub>3</sub>. Классические индексы центральности оценивают только прямое взаимодействие между странами в сети (случай 1). SRIC учитывает не прямые взаимодействия первого уровня, как в случаях 2) и 3). Однако мигранты из страны А могут попасть в В<sub>3</sub> используя более длинные маршруты, как в примере 4), и в этом случае нам нужно пересчитать индекс с учетом маршрутов порядка  $s$  (в данном случае 3-го порядка). Поэтому был предложен новый способ оценивания подобного влияния.

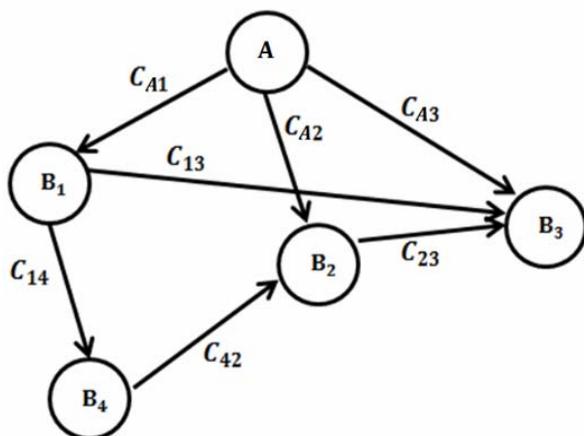


Рис. 1.

### Прямое и не прямое влияние между странами в сети

Индекс дальних взаимодействий (*Long-Range Interaction Centrality Index, LRIC*) оценивает влияние страны, учитывая все возможные пути между странами в сети международной миграции. Методология индекса была предложена в работе [Aleskerov, Meshcheryakova, Shvydun, 2016]. Основная идея состоит в том, что вначале вычисляется прямое влияние между странами, затем оценивается не прямое влияние и происходит его агрегирование.

Не прямое влияние между элементами  $i$  и  $j$  может быть оценено двумя способами: 1) как произведение прямых влияний, 2) как минимальное из всех влияний в цепочке.

Между двумя странами может быть не один возможный путь в сети, а несколько, поэтому для учета всех возможных путей производится их агрегирование, которое также может вычисляться двумя способами: 1) как сумма влияний, 2) как максимальное из всех возможных влияний.

В нашем анализе представлены результаты для случая минимального непрямого влияния и максимального влияния на путях – LRIC (MinMax).

Таким образом, в нашей работе представлено исследование влияния стран в сети международной миграции с помощью классических индексов центральности и индексов ближних и дальних

взаимодействий. Отличительной особенностью последних является анализ непрямых взаимодействий между странами и влияния потоков миграции на население принимающей страны.

### **Результаты**

В последнее десятилетие крупнейшие потоки международной миграции, представленные в нашей базе данных [International migration flows...], произошли между следующими группами стран. Миграционный коридор Мексика – США остается на стабильно высоком уровне, к 2013 г. поток миграции из Мексики в США составил 135 028 человек. Количество мигрантов из Мексики стабилизируется, причиной этому служат различные факторы: сокращение возможностей трудоустройства в США, более строгая миграционная политика, снижение уровня рождаемости и экономический рост в Мексике [Mexican immigrants in the United States]. Суммарный приток мигрантов из Индии и Китая в США превысил мексиканскую иммиграцию в 2013 г.

Еще одним притягательным местом назначения мигрантов стала Испания. Мигранты из Эквадора, Марокко, Колумбии и Аргентины приезжали в Испанию до начала экономического кризиса в 2008 г. После 2008 г. Испания перестает быть привлекательной страной для иммиграции из-за возросшего уровня безработицы, и в стране резко возрастает уровень эмиграции: бывшие иммигранты стали покидать Испанию [Izquierdo, 2015].

Греция была одной из стран, испытавших значительный рост в притоке международных иммигрантов в последнее время согласно данным Евростата [Migration and migrant population statistics]. Однако в 2013 г. Греция не представлена в списке стран, доступных в базе данных [International migration flows...], поэтому она отсутствует в рейтингах стран в 2013 г.

Данные процессы привели к появлению следующих крупных миграционных потоков (более 50 000 человек), которые представлены в таблице ниже (таблица 2).

Таблица 2

**Потоки миграции более 50 000 человек в 2013 г.**

Страна происхождения	Страна назначения	Поток миграции
Мексика	США	135 028
Китай	США	71 798
Испания	Румыния	70 055
Индия	США	68 458
Румыния	Италия	59 347
Филиппины	США	54 446

Результаты оценивания индексов центральности приведены в таблице 3. Из результатов *weighted in-degree* центральности наибольшее число иммигрантов наблюдалось в США, Италии и Великобритании. *Weighted out-degree*, в свою очередь, выделяет Испанию, Индию и Китай как страны с самым большим оттоком мигрантов. *Weighted degree* указал на значимость стран с наибольшей валовой миграцией: США, Испания, Италия и Великобритания. Самый многочисленный чистый миграционный приток, по данным *weighted degree difference*, имели США, Канада и Великобритания. Стоит отметить, что США и Канада имеют наибольший чистый миграционный приток, так как для этих стран отсутствуют данные по эмиграции, соответственно в качестве чистой миграции представлен только отток мигрантов.

Иные результаты могут быть получены после вычисления уровня *closeness*: США все еще находятся на первом месте, однако Мексика, Нидерланды, Испания и Швейцария также представлены в рейтинге. Эти страны имели большие притоки мигрантов, как и в случае США, или оттоки мигрантов (Испания), либо были связаны потоками мигрантов со странами с высоким уровнем миграции.

*Eigenvector* и *PageRank* выделяют страны – центры притяжения международных мигрантов, а также наиболее связанные с ними: США, Италия, Великобритания и Испания. Эти страны больше, чем остальные, были вовлечены в процесс международной миграции, а также имели обоюдные потоки мигрантов.

Классические индексы центральности предоставили информацию о наибольшем притоке и оттоке мигрантов, чистом миграционном притоке, валовой миграции, уровне близости стран к

наибольшим потокам, а также о странах, наиболее вовлеченных в процесс международной миграции.

Таблица 3

### Индексы центральности для 2013 г. (Ранги)

Страна	WInDeg	WOutDeg	WDeg	WDegDiff	Clos	PageRank	EigenVec	SRIC	LRIC
США	1	19	1	1	1	1	2	22	10
Италия	2	5	3	4	6	6	4	11	16
Великобритания	3	10	4	3	30	3	1	9	7
Канада	4	44	5	2	10	7	12	74	30
Испания	5	1	2	215	3	2	3	1	1
Швейцария	6	12	7	6	5	5	6	35	80
Нидерланды	7	8	8	10	4	8	11	17	27
Швеция	8	21	15	5	9	11	19	15	35
Бельгия	9	14	10	9	7	12	9	23	45
Румыния	10	6	6	198	14	17	5	2	2
Германия	11	11	9	23	37	10	7	12	9
Новая Зеландия	12	16	13	14	8	4	14	5	15
Франция	13	9	12	192	36	15	8	7	5
Норвегия	14	52	23	7	11	16	23	32	24
Австралия	15	31	22	8	33	9	20	18	21
Марокко	18	17	20	166	31	21	10	8	6
Польша	23	13	18	210	44	20	28	4	4
Индия	32	2	11	214	24	26	32	3	3
Мексика	45	4	14	212	2	56	40	49	65
Китай	73	3	16	213	23	55	90	6	8
Сирия	133	37	49	200	61	137	137	10	22

Индексы ближних и дальних взаимодействий помогут нам изучить сеть международной миграции с точки зрения нового подхода.

Испания, Румыния, Индия и Польша имели наибольшее влияние по оценке индекса ближних взаимодействий (SRIC). Эти результаты сильно связаны с миграционным оттоком (weighted out-degree). Однако SRIC учитывает также население принимающей страны и не прямые взаимодействия первого уровня, поэтому есть отличия от рангов weighted out-degree, и появляются такие новые страны, как: Румыния, Польша и Новая Зеландия.

Индекс дальних взаимодействий (LRIC) показывает следующие результаты: Испания, Румыния, Индия, Польша и Франция находятся в начале рейтинга. В Испании наблюдался наибольший уровень эмиграции. Румыния, Индия и Франция имели оттоки мигрантов в страны с большим населением и высоким уровнем миграции. В 2013 г. наблюдался значительный уровень миграции из Индии в США: мигранты из Индии оказались на вто-

ром месте по численности в населении США после мигрантов из Мексики, их численность достигла 2 млн [Indian immigrants in the United States, 2015).

Франция представлена в списке наиболее влиятельных стран по LRIC, потому что из Франции были потоки мигрантов в Испанию (10 548 человек) и Великобританию (24 313 человек). Польша, которая, по оценкам LRIC, была в топ-5 стран, не имела большого оттока мигрантов, однако миграционный поток из Польши в Норвегию составлял примерно 10 000, в то время как население Норвегии составляет 5 млн. Данный поток мигрантов составляет 0,2% от населения Норвегии, что превышает установленную квоту по населению. Этот результат важно отметить, потому что, когда приток мигрантов превышает определенную долю от населения принимающей страны, это может привести к негативным последствиям как для мигрантов, так и для принимающей страны.

Для анализа взаимосвязи между классическими индексами центральности и индексами ближних и дальних взаимодействий были рассчитаны коэффициенты ранговой корреляции Гудмена–Краскала (таблица 4).

Таблица 4

### Коэффициент корреляции Гудмена–Краскала

	SRIC	LRIC
<b>WInDeg</b>	0,716	0,742
<b>WOutDeg</b>	0,839	0,742
<b>WDeg</b>	0,831	0,742
<b>WDegDiff</b>	-0,414	-0,341
<b>Clos</b>	0,704	0,642
<b>PageRank</b>	0,716	0,714
<b>Eigenvec</b>	0,705	0,676
<b>SRIC</b>	1	0,799
<b>LRIC</b>		1

В итоге сравнительный анализ классических индексов центральности и индексов ближних и дальних взаимодействий по десятилетиям показал следующие результаты. Во-первых, результаты классических индексов центральности выделили популярные страны иммиграции и эмиграции, а также страны, наиболее вовлеченные в международную миграцию. Во-вторых, индексы ближ-

них и дальних взаимодействий (SRIC, LRIC) указали на влияние данных потоков на население принимающих стран через значимость роли других стран в процессе международной миграции.

### **Заключение**

Международная миграция может моделироваться различным образом. Большое количество работ и теорий рассматривают миграцию на уровне потоков между двумя странами, а также анализируют причины появления потоков миграции. Сетевой подход позволяет представить все страны в виде взаимосвязанной системы, а потоки между любыми двумя отдельно взятыми странами – как неотъемлемую часть этой системы.

Вычисление классических индексов центральности является одним из возможных способов оценки влияния стран через потоки международной миграции. В нашей работе, помимо классических индексов центральности, представлен анализ, позволяющий учесть не прямое влияние стран в сети, а также воздействие потоков международной миграции на население принимающей страны. Эта идея реализована с помощью индексов ближних и дальних взаимодействий (SRIC, LRIC).

Анализ применен к данным о потоках международной миграции за 2013 г., проведено сравнение результатов по индексам центральности. Данная методология позволяет выделить не только страны с большим притоком или оттоком мигрантов, но и страны, уровень эмиграции из которых составляет значительную долю от населения принимающей страны, и эмиграцию в популярные страны назначения мигрантов. Эти результаты представляют большую важность для стран, вовлеченных в процесс международной миграции, для проведения соответствующей миграционной политики.

## Приложение

### Список стран, предоставивших данные по международной миграции за 2013 г.

**Приток мигрантов:** Бельгия, Великобритания, Венгрия, Дания, Ирландия, Исландия, Испания, Италия, Канада, Литва, Лихтенштейн, Люксембург, Нидерланды, Новая Зеландия, Норвегия, Румыния, Словакия, Словения, США, Финляндия, Хорватия, Швейцария, Швеция, Эстония.

**Отток мигрантов:** Бельгия, Великобритания, Венгрия, Дания, Ирландия, Исландия, Испания, Италия, Литва, Лихтенштейн, Люксембург, Нидерланды, Новая Зеландия, Норвегия, Румыния, Словакия, Словения, Финляндия, Хорватия, Швейцария, Швеция, Эстония.

### Список литературы

- Aleskerov F.T., Meshcheryakova N.G., Shvydun S.V.* Centrality measures in networks based on nodes attributes, long-range interactions and group influence // Series WP7 «Mathematical methods for decision making in economics, business and politics». – Moscow: HSE Publishing House, 2016. – N WP7/2016/04. – P. 1–44.
- Aleskerov F.T.* Power indices taking into account agents' preferences // Mathematics and Democracy / B. Simeone, F. Pukelsheim (eds). – Berlin: Springer, 2006. – P. 1–18.
- Aleskerov F.T., Andrievskaya I.K., Permjakova E.E.* Key borrowers detected by the intensities of their short-range interactions // Working papers by NRU Higher School of Economics. Series FE «Financial Economics». – Moscow: HSE Publishing House, 2014. – N WP BRP 33/FE/2014. – P. 1–18.
- Bavelas A.* Communication patterns in task-oriented groups // The Journal of the acoustical society of America. – College Park, MD, 1950. – N 22. – P. 725–730.
- Bodvarsson Ö. B., Simpson N. B., Sparber C.* Migration theory: Handbook of economics of international migration. Vol. 1A: The Immigrants. – North Holland: Elsevier Inc., 2015. – Vol. 1A: The Immigrants. – 810 p.
- Bonacich P.* Power and centrality: A family of measures // American journal of sociology. – Chicago, 1987. – N 92 (5). – P. 1170–1182.
- Bonacich P.* Technique for analyzing overlapping memberships // Sociological Methodology. – Oxford, 1972. – Vol. 4. – P. 176–185.
- Brin S., Page L.* The anatomy of a large-scale hypertextual Web search engine // Computer Networks. – L., 1998. – Vol. 30. – P. 107–117.
- Brown R.P.C., Jimenez-Soto E.* Migration and remittances // Handbook of the economics of international migration. – Oxford: Elsevier, 2015. – Vol. 1B. – P. 1077–1140.
- Overcoming barriers: Human mobility and development // Human development report 2009. – 2009. – Mode of access: [http://hdr.undp.org/sites/default/files/reports/269/hdr\\_2009\\_en\\_complete.pdf](http://hdr.undp.org/sites/default/files/reports/269/hdr_2009_en_complete.pdf) (Дата посещения: 09.08.2016.)
- Fagiolo G., Mastrorillo M.* The International migration network. – N.Y.: Cornell univ. library, 2012. – 33 p. – (Reprint arXiv:1212.3852).

- Freeman L.C.* A set of measures of centrality based upon betweenness // *Sociometry*. – N.Y., 1977. – Vol. 40. – P. 35–41.
- Freeman L.C.* Centrality in social networks: Conceptual clarification // *Social Networks*. – Amsterdam, 1979. – Vol. 1. – P. 215–239.
- Global Bilateral Migration Database // The World bank. IBRD. IDA [сайт]. – Mode of access: <http://data.worldbank.org/data-catalog/global-bilateral-migration-database> (Дата посещения: 09.08.2016.)
- Goodman L.A., Kruskal W.H.* Measures of association for cross classifications // *Journal of the American statistical association*. – Boston, 1954. – N 49 (268). – P. 732–764.
- In safety and dignity: Addressing large movements of refugees and migrants: Report of the Secretary-General, 21 April 2016 // United Nations [сайт]. – 2016. – Mode of access: [http://www.un.org/pga/70/wp-content/uploads/sites/10/2015/08/21-Apr\\_Refugees-and-Migrants-21-April-2016.pdf](http://www.un.org/pga/70/wp-content/uploads/sites/10/2015/08/21-Apr_Refugees-and-Migrants-21-April-2016.pdf) (Дата посещения: 09.08.2016.)
- Indian immigrants in the United States // Migration policy institute [сайт]. – Mode of access: <http://www.migrationpolicy.org/article/indian-immigrants-united-states> (Дата посещения: 09.08.2016.)
- International migration flows to and from selected countries: The 2015 revision // United Nations. – Mode of access: <http://www.un.org/en/development/desa/population/migration/data/empirical2/migrationflows.shtml> (Дата посещения: 09.08.2016.)
- International migration report // United Nations [сайт]. – 2015. – Mode of access: [http://www.un.org/en/development/desa/population/migration/publications/migration-report/docs/MigrationReport2015\\_Highlights.pdf](http://www.un.org/en/development/desa/population/migration/publications/migration-report/docs/MigrationReport2015_Highlights.pdf) (Дата посещения: 09.08.2016.)
- Izquierdo M., Jimeno J. F., Lacuesta A.* Spain: from immigration to emigration? // *Documentos de Trabajo*. – Madrid: Banco de Espana, 2015. – Vol. 1503. – 41 p.
- Katz L.A.* New status index derived from sociometric index // *Psychometrika*. – Ottawa, 1953. – P. 39–43.
- Lee E.* A Theory of migration // *Demography*. – N.Y., 1966. – N 3 (1). – P. 47–57.
- Liang Z., Li J., Ma Z.* Migration and remittances // *Asian population studies*. – L., 2013. – N 9 (2). – P. 124–141.
- Mexican immigrants in the United States // Migration Policy Institute [сайт]. – Mode of access: <http://www.migrationpolicy.org/article/mexican-immigrants-united-states> (Дата посещения: 09.08.2016.)
- Migration and migrant population statistics // Eurostat. Statistic explained [сайт]. – Mode of access: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Migration\\_and\\_migrant\\_population\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Migration_and_migrant_population_statistics) (Дата посещения: 09.08.2016.)
- Migration flows – Europe. – Mode of access: <http://migration.iom.int/europe/> (Дата посещения: 09.08.2016.)
- Mincer J.* Family migration decisions // *Journal of political economy*. – Chicago, 1978. – N 86 (5). – P. 749–773.
- Polachek S.W., Horvath F.W.* A life cycle approach to migration: Analysis of the perspicacious peregrinator // *Research in Labor Economics 35th Anniversary Retrospective*. – Bingley: Emerald group publishing, 2012. – Vol. 35. – P. 349–395.
- Ravenstein E.G.* The laws of migration // *Journal of the royal statistical society*. – L., 1889. – N 52 (2) – P. 241–305.

- Sjaastad L.* The costs and returns of human migration // *Journal of Political Economy*. – Chicago, 1962. – Vol. 70. – P. 80–93.
- Smith A., Campbell R.H., Skinner A.S.* An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations. – Oxfordshire: Clarendon Press, 1976. – 535 p.
- Tinbergen J.* Shaping the world economy: suggestions for an international economic policy. – N.Y.: The Twentieth Century Fund, 1962. – N HD82 T54. – 330 p.
- Wanner P.* Migration trends in Europe // *European population papers series*. – Strasbourg, 2002. – N 7 (7). – P. 1–26.
- Yap L.* The attraction of cities: A review of the migration literature // *Journal of development economics*. – L., 1977. – Vol. 4. – P. 239–264.
- Zipf G.K.* The P1 P2/d hypothesis: On the intercity movement of persons // *American sociological review*. – Washington, DC, 1946. – N 11(6). – P. 677–686.