

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ АГЕНТНОЙ МОДЕЛИ
МИГРАЦИОННЫХ ПОТОКОВ****А. Л. Савина (Орел)**

В современном мире существует множество рынков труда, различных как по географическому положению, так и по экономическим показателям, что приводит к миграции рабочей силы из менее благоприятных для трудоустройства регионов в более благоприятные. Эта тенденция ярко проявляется в США и Европе, являющихся центрами притяжения рабочей силы из развивающихся стран Центральной и Южной Америки, Азии, Африки.

Отечественные исследователи изучают проблему миграции в двух основных аспектах [1]: отъезд из страны наиболее квалифицированных молодых специалистов, так называемая «утечка мозгов», и приезд в страну низкоквалифицированной рабочей силы из Узбекистана, Таджикистана и других стран СНГ. Сравнительно малое внимание уделяется процессам внутренней трудовой миграции. Менее значительные по мировым масштабам, они, тем не менее, затрагивают почти каждую семью в нашей стране, подерживая замкнутый круг: низкие темпы развития региона => отток рабочей силы => еще большее снижение темпов развития региона. Сохранение данной тенденции приводит к упадку небольших городов и целых областей и гиперцентрализации мегаполисов, в первую очередь Москвы.

При исследовании миграционных явлений не следует ограничиваться оценкой общих социально экономических показателей города (региона, страны). Такие оценки достаточны для построения регрессионных моделей и получения прогнозов в относительно стабильных условиях, однако при отклонении хотя бы одного из факторов от установленных предельных значений модель утрачивает надежность. [3, с. 11–19] Это общее свойство для всех статистических моделей.

На сегодняшний день более актуально прогнозирование социально-значимых явлений, основанное на использовании имитационных моделей, реализованных в специальных программных комплексах. Для решения данной задачи наиболее предпочтителен агентный подход, поскольку он позволяет получить картину изменения социальной ситуации, основанную на последствиях решений и вытекающих из этого действий отдельных людей. Принятие социально значимого решения, такого как решение о переезде в другой город, происходит на основании сложной системы оценок различных параметров уровня жизни, с одной стороны, в том месте, где человек проживает в настоящий момент, с другой, – там, куда он может переехать.

Принципы получения нечетких оценок уровня жизни

Основными факторами, влияющие на оценку уровня жизни, а следовательно, на принятие решения о миграции, являются уровень заработной платы, жилищные условия, состав домохозяйства, возможность получения образования и др. Ни один из этих факторов не поддается простой количественной оценке. Рассмотрим, какие соображения могут повлиять на агента при поиске работы, в частности, при оценке предлагаемой заработной платы.

Во-первых, он будет сравнивать предлагаемую заработную плату с заработной платой, которую получают его знакомые с аналогичным уровнем образования и квалификацией. Во-вторых, агент примет расчет уровень жизни в своем домашнем хозяйстве: чем он выше, тем на более высокую заработную плату будет рассчитывать агент. В-третьих, агент должен учитывать конъюнктуру на рынке труда и знакомства, на которые он может рассчитывать при поиске работы. Если агенту не удастся найти в не-

большом городе работу, удовлетворяющую всем этим условиям, то высока вероятность того, что он задумается о смене места жительства. Для формализации параметров уровня жизни был выбран аппарат нечеткой логики, позволяющий получать нормированные оценки на основе неточной информации [3].

Представим оценку агентом предлагаемой ему заработной платы в виде нечеткой переменной $УЗ$, зависящей от уровня доходов в домохозяйстве агента и его «возможностей», складывающихся из природных способностей, уровня образования и квалификации. Общий вид функции принадлежности $\mu_{УЗ}$ нечеткой переменной $УЗ$ представлен на рис. 1.

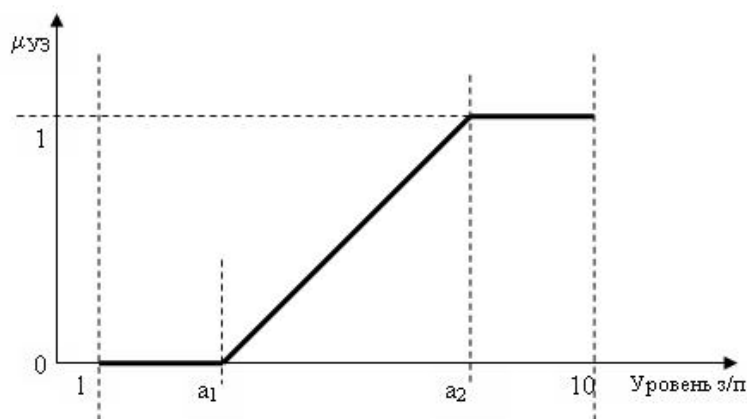


Рис. 1. Общий вид функции принадлежности $\mu_{УЗ}$

Значения нечеткой переменной $УЗ$ нормируются в пределах от 0 до 1, причем в области значений выделяются три сегмента:

- 1.. a_1 – неприемлемый уровень зарплаты ($\mu_{УЗ} = 0$);
- a_1 .. a_2 – условно-приемлемый уровень ($\mu_{УЗ} \in (0;1)$);
- a_2 .. 10 – приемлемый уровень ($\mu_{УЗ} = 1$).

К первому сегменту относится заработная плата, размер которой значительно меньше среднего дохода в домохозяйстве агента; ко второму – зарплата, сопоставимая со средним доходом или выше; к третьему – значительно превосходящая его. Граница первого сегмента a_1 определяется средним доходом в домохозяйстве агента. Граница второго сегмента a_2 также регулируется уровнем возможностей агента: чем он выше, тем на больший рост доходов по мере повышения квалификации он может рассчитывать.

Функция принадлежности нечеткой переменной $УЗ$ имеет вид:

$$\mu_{УЗ}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq d - \varepsilon; \\ \frac{x - d + \varepsilon}{v}, & d - \varepsilon < x < d - \varepsilon + v; \\ 1, & x \geq d - \varepsilon + v, \end{cases} \quad (1)$$

где x – уровень заработной платы агента;

$\mu_{УЗ}$ – функция принадлежности нечеткой переменной $УЗ$,

d – уровень дохода в домохозяйстве агента;

v – уровень возможностей агента;

ε – некоторое натуральное число ($\varepsilon=1$ показывает, что агент допускает возможность работы с уровнем зарплаты не более, чем на 1 пункт ниже среднего дохода в его домохозяйстве).

Однако, если не составляет труда сформировать такие оценки для города, в котором проживает агент, то для других городов оценка уровня жизни является более сложной задачей, поскольку сам агент не находится там, не ищет работу и жилье. Информация об уровне жизни в другом городе поступает к агенту из разных источников, которые делятся на две группы:

– рассеянные, т. е. воздействующие одинаково на всех агентов (средства массовой информации, Интернет, официальные статистические сборники, современная художественная литература и кинематограф);

– направленные, т. е. действующие лишь на определенного агента или группу агентов (рассказы знакомых, поездки).

По мере поступления, анализа и систематизации этой информации агент строит свою субъективную картину жизни в другом городе. Следует принять во внимание, что агента в большей степени интересует не всеобъемлющая картина города, а те ее части, которые могут иметь к нему непосредственное отношение в случае, если он решится на переезд.

Оценка ожидаемого уровня заработной платы (ОУЗ) формируются аналогичным образом, с той разницей, что информация, лежащая в ее основе, менее надежна. Интегральные оценки уровня жизни (УЖ) и ожидаемого уровня жизни (ОУЖ) учитывают также уровень имеющихся и ожидаемых жилищных условий агента. Оценки УЖ и ОУЖ можно сравнивать, так как обе они нормируются в пределах от 0 до 1.

Помимо экономических и социальных, необходимо учитывать также психологические причины, в основе которых лежит склонность человека к переменам, или, наоборот, природная инертность. Согласно социологическим исследованиям, к энергичным и деятельным людям можно отнести от пяти до семи процентов населения, остальные же в большей степени склонны подстраиваться под обстоятельства, в которых оказались, чем пытаться их изменить.

Тем не менее по мере роста недовольства условиями жизни, у агента накапливается энергия, способная по достижении некоторого порога толкнуть его на решительные действия. Уровень недовольства агента зависит от следующих показателей:

– размаха между имеющимся и ожидаемым уровнем жизни (чем он больше, тем выше недовольство агента);

– времени, в течение которого агент находится в неудовлетворительном состоянии.

Уровень недовольства E_1 рассчитывается по формуле

$$E_1(x, t) = \mu_{оуж}(x, t) - \mu_{уж}(x, t), \quad (2)$$

где $\mu_{уж}(x, t)$ – значение функции принадлежности уровня жизни агента x в своем городе в такт времени t ;

$\mu_{оуж}(x, t)$ – значение функции принадлежности оценки уровня жизни агента x в другом городе в такт времени t ;

E_1 – уровень недовольства агента x в такт времени t .

Накапливание уровня недовольства с течением времени выразим с помощью оператора алгебраической суммы, сохраняющего нормирование значений оценок от 0 до 1.

$$S_E(x, t) = S_E(x, t-1) + E_1(x, t) - S_E(t-1, x) \cdot E_1(x, t), \quad (3)$$

где t – такт модельного времени;

$E_1(x, t)$ – уровень недовольства агента x в такт времени t ;

$S_E(t)$ – уровень недовольства, накопленный агентом x к такту t ;

$S_E(t-1)$ – уровень недовольства, накопленный агентом x к такту $t-1$.

Перерасчет величины S_E проводится на каждом такте модельного времени. Порог накопления уровня недовольства нормируется в пределах от 0 до 1 и является индивидуальным для каждого агента. По достижении уровнем накопленного недовольства УН порогового значения ПУ, агент принимает решение о переезде.

Модель принятия решения агентом

Для формализации процесса принятия решения агентом был выбран аппарат теории автоматов, поскольку, с одной стороны, он соответствует принятой в психологии модели «стимул–реакция», а, с другой, легко реализуется современными программными средствами.

Теория бихейвиоризма, изучающая процессы принятия решений и различные аспекты поведения, описывает процесс осуществления некоторой целенаправленной деятельности следующим образом. Человек имеет набор потребностей и существует в некоторой среде. Среда воздействует на человека через разнообразные импульсы. Результатом столкновения потребности с импульсом, способным удовлетворить эту потребность, является мотивация. В зависимости от частоты и интенсивности поступления импульсов этот эффект может быть подкреплён (что с физиологической точки зрения соответствует усилению рецепторно-эффекторных связей между нейронами), либо угаснуть (связи ослабляются или исчезают). Следствием усиления связи до определенной степени является вызов реакции.

Модель принятия решения о миграции строится на основе общей схемы поведения, что позволяет придать решениям агента необходимую психологическую обоснованность. Наряду со структурой процесса принятия решения, необходимо учитывать качественные и количественные характеристики области принятия решений, т. е. перспектив миграции.

Состояние агента описывается набором нечетких переменных:

УЖ – уровень жизни агента в изучаемом городе;

ОУЖ – ожидаемый уровень жизни в другом городе;

УН – накопленный уровень недовольства агента;

ПУ – пороговый уровень недовольства.

В табл. 1 отражены сочетания управляющих переменных, определяющие каждое состояние автомата принятия решения о миграции (АПРМ).

Таблица 1

Состояния АПРМ

Условное обозначение состояния	Состояние	Сочетание управляющих переменных
q_0	Агент не имеет желания уезжать из города	$УЖ \geq ОУЖ$
q_1	Агент хочет, но не готов уехать из города	$УЖ < ОУЖ$ $УН < ПУ$
q_2	Агент готов уехать из города	$УЖ < ОУЖ$ $УН \geq ПУ$
q_3	Агент уехал из города	пересчет оценок

Представление переходов АПРМ в виде таблицы нерацionalmente, поскольку при точности до сотых сочетание всех возможных входных сигналов и состояний имеет порядок 10^8 . Более наглядным является графическое представление (рис. 2).

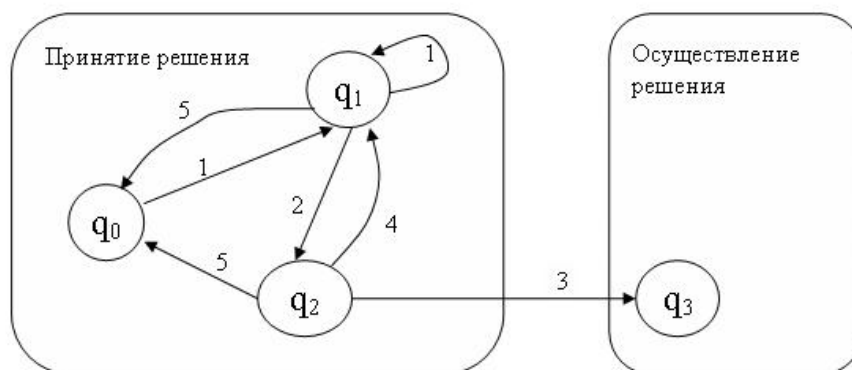


Рис. 2. Схема переходов АПРМ

В табл. 2 приведены изменения значений переменных состояния автомата, обуславливающие срабатывание переходов. Начальное состояние автомата будет определяться начальным распределением значений управляющих переменных.

Таблица 2

Переходы в АПРМ

Переход	Изменение управляющей переменной
1	Снижение УЖ; повышение ОУЖФ
2	Снижение ПУ; повышение УН
3	Пересчет оценок
4	Повышение ПУ; снижение УН
5	Повышение УЖ; снижение ОУЖФ

Выводы

Современный уровень развития математических методов предоставляет возможности анализа и прогнозирования социальных явлений с учетом присущей внешней среде неопределенности и ограниченной рациональности принимаемых человеком решений, связанной с неполнотой доступной информации об окружающем мире. Использование аппарата нечеткой логики позволяет получить оценки слабо формализуемых параметров социальной среды, близкие к реальным оценкам, которые люди формируют в повседневной жизни. Кроме того, работа с нечеткими оценками не требует значительных вычислительных мощностей, что особенно важно при планировании программной реализации модели, так как эти оценки должны строиться и корректироваться по мере выполнения алгоритмических секций для тысяч агентов.

Литература

1. Рыбаковский Л. Л. Миграция населения. Три стадии миграционного процесса – <http://www.i-u.ru/biblio/archive/migracia/1.aspx> (4.02.2011)
2. Алешковский И. А. Детерминанты внутренней миграции населения в России. Автореф. дисс. на соиск. ученой степени канд. экон. наук. М.: МГУ, 2007.
3. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.