Искусственные общества

(Ежеквартальный журнал)

Том 10, №1-4
I-IV квартал
2015

● научные статьи ● обсуждения ● модели
● искусственный интеллект● научное ПО ● дайджест

ЦЭМИ РАН

(Лаборатория социального моделирования)

Лаборатория искусственных обществ

Искусственные общества

Ежеквартальный Интернет - журнал

Том 10, номер 1-4, 2015

ISSN 2077-5180
Свидетельство о регистрации СМИ ЭЛ №ФС77-40162
© Центральный экономико-математический институт Российской академии наук

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Журнал издается с октября 2006 года

Главный редактор:
Макаров В.Л., академик РАН (ЦЭМИ РАН, МГУ, РЭШ)

Заместитель главного редактора:
Бахтизин А.Р., д.э.н. (ЦЭМИ РАН, МГУ)

Редакционная коллегия:
- Афанасьев А.А., д.э.н. (ЦЭМИ РАН, ВШЭ);
- Бахтизина Н.В., к.э.н. (ЦЭМИ РАН);
- Бесстремянная Г.Е., к.э.н. (ЦЭМИ РАН);
- Зулькарнай И.У., д.э.н. (БашГУ);
- Макаров С.В., к.э.н. (ЦЭМИ РАН);
- Смирнова Л.Н., к.п.н. (Сямэньский университет, КНР; ЦЭМИ РАН);
- Сушко Е.Д., к.э.н. (ЦЭМИ РАН);
- Шамхалов Ф.И., член-корр. РАН (ЦЭМИ РАН).

Международный совет журнала:
- Deguchi Hiroshi, Dr. of Science, Dr. of Economics (Tokyo Institute of Technology, Japan);
- Joshua M. Epstein, Professor (Center on Social and Economic Dynamics at Brookings, USA);
- Robert Axtell, Chair (Department of Computational Social Science, George Mason University, USA);
- Shu-Heng Chen, Professor, Director (AI-ECON Research Center, Department of Economics, National Chengchi University, Taipei, Taiwan);
- Tsvetovat Maksim, PhD (George Mason University, USA).

Компьютерная верстка: Д. К. Полунина

Адрес редакции:

117418, Москва, Нахимовский проспект, 47, к. 312

Телефон (7) (499) 129 07 44

Факс (7) (499) 129 14 00

e-mail: dpolunina@cemi.rssi.ru

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Том 10, номер 1-4, 2015

Редько В.Г., Сохова З.Б. Многоагентная модель аренды сельскохозяйственных земель в регионе 5

Машкова А.Л., Новикова Е.В. Субъективный образ мира и политический выбор агентов: исследование динамики общественной распределительной системы в долгосрочном периоде 21

Ислакаева Г.Р. Разработка инструментария моделирования отдельных аспектов региональной политики в области предоставления услуг высшего образования 34

Белоусов Ф.А., Дарсавилидзе Д.С. Логистические центры России. Имитацонное моделирование товаропотока в России. 53

Гришин Е.А. Концепция и тест на квазиразумность виртуального персонажа 92

Рамазанов Р.Р. Агент-ориентированное моделирование движения рабочей силы моногорода 110

Бирюков А.Н. Корректная постановка обратных задач восстановления многомерных функций через нейросетевые модели в налоговом администрировании 125

Кензин Т.Р. Прогнозирование оценки населением своего материального положения с использованием агенто-ориентированной модели общества потребления. 146

Summary 171

Авторы статей 174

Правила предоставления материалов 175

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Многоагентная модель аренды сельскохозяйственных земель в регионе

© *Редько В.Г., Сохова З.Б. (Москва)*

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вопрос о частной собственности на землю в регионах, особенно малоземельных, стоит очень остро и вызывает множество дискуссий [1], поэтому задача эффективного использования механизма аренды сельскохозяйственных угодий очень важна. Стратегические ошибки, которые могут быть допущены, легче исправить при передаче земель в аренду, чем при передаче земель в собственность. Таким образом, на данном этапе земельной реформы, проводимой в стране, для муниципалитета важно выгодно распределить имеющиеся участки между землепользователями-арендаторами, непременно, учитывая их экономические характеристики. В этом вопросе методы агент-ориентированного моделирования могут помочь оценить поведение реальных экономических агентов и выбрать эффективное направление развития арендных взаимоотношений в области экономики сельского хозяйства [2].

В решении вопроса земельных отношений предлагается много различных подходов. Например, в работе [3] проводится сравнительный анализ эффективности различных механизмов распределения сельскохозяйственных угодий. В частности, исследуется эффективность *аукционных механизмов* для решения задачи

первоначального распределения земли в малоземельном регионе. Рассматриваются две концепции земельной реформы: *приватизация* и *аренда*.

В нашей работе рассматривается упрощенное экономическое сообщество, состоящее только из *землепользователей* и *муниципального центра*, сдающего сельскохозяйственные земли в аренду, что позволяет построить и проанализировать модель достаточно четко. Работа является продолжением наших работ [4, 5] по созданию и исследованию многоагентных моделей прозрачной экономики.

2. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

Рассматривается сообщество *N землепользователей* и *центра* малого региона. Отдельным землепользователем может быть коллектив сельхозпроизводителей (например, коллектив фермеров) или отдельный фермер. Центр сдает земельные участки землепользователям в аренду. Землепользователь производит сельхозпродукцию для извлечения прибыли. Таким образом, модель включает в себя три сущности: *муниципальный центр*, *землепользователей* и *земельные участки*.

Муниципальный центр (например, районный центр) является владельцем земельных участков на сравнительно небольшой территории (далее будем использовать просто термин «центр»). Считаем, что каждый год какие-то земельные участки освобождаются (например, фермер решил сократить свой участок, почувствовав, что не справится со всем участком, или распался какой-то коллектив фермеров и т.п.). Центр также может изъять участок у фермера, совершающего

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

экологические нарушения. Раз в год центр предоставляет возможность землепользователям снимать в аренду свободные участки. В модели год считается периодом функционирования сообщества.

Центр и землепользователи функционируют в *прозрачной среде*, т.е. предоставляют всему сообществу информацию о своем текущем капитале, прибыли, о состоянии участков (в том числе, об их экологическом состоянии). Отдельный землепользователь рассматривается как *агент* сельскохозяйственного сообщества региона.

Считаем, что в каждый период T имеется K свободных участков, которые должны быть распределены (т.е. сданы в аренду) между землепользователями. Причем при моделировании рассматривались две ситуации на рынке аренды земли: а) спрос на землю выше предложения и б) спрос на землю ниже, чем предложение. Распределение свободных участков происходит с помощью *конкурсного отбора*. Для этого в начале каждого периода центр выставляет на конкурс, имеющиеся свободные участки по одному. Каждый участок характеризуется своей производительностью k_i, $i = 1,\ldots,K$. Производительность участков оценивается центром.

В конкурсе распределения участков принимают участие n землепользователей ($n \leq N$). Каждый землепользователь имеет определенный свободный капитал C_j, $j = 1,\ldots,N$. Также землепользователь характеризуется величиной ежегодных арендных выплат Ar_j, $j = 1,\ldots,N$. Эта величина увеличивается, если землепользователь берет в аренду новый участок.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

В начале периода j-м землепользователем рассчитывается ожидаемая прибыль от i-го участка, сдаваемого в аренду в текущем году:

$$Pr_{ji} = k_i\, F(C_j) - A_{i0}, \qquad (1)$$

где A_{i0} – начальная стоимость аренды i-го участка, функция $F(C)$ одинакова для всех конкурсантов, при моделировании полагалось, что $F(x) = x^2/(x^2 + a^2)$, где a – положительный параметр. Начальная стоимость аренды i-го участка A_{i0} задается центром и рассчитывается следующим образом:

$$A_{i0} = k_{arenda}\, k_i\,, \qquad (2)$$

где k_{arenda} – положительный параметр, k_i – производительность участка. Обычно мы считали, что производительность участка равна его кадастровой стоимости и $k_{arenda} = 0.03$; т.е. центр устанавливает начальную арендную плату в размере 3% от кадастровой или рыночной стоимости участка. Этот вариант арендной платы широко используется в реальной экономической ситуации.

Считаем, что каждый землепользователь имеет определенный ресурс R_j (количество работников на данной ферме, количество сельскохозяйственной техники и т.п.) для проведений сельскохозяйственных работ на своем участке. Также вводим суммарную производительность всех участков землепользователя $k_{sum,j}$. Суммарная производительность $k_{sum,j}$ равна сумме производительности того начального участка, который был у землепользователя до начала аренды, и производительностей тех участков, которые землепользователь начинает арендовать у центра. Кроме того, вводим удельный (относительный) ресурс землепользователя $R_{relative,j}$,

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

т.е. его ресурс R_j, отнесенный к суммарной производительности участков землепользователя $k_{sum,j}$:

$$R_{relative,j} = R_j / k_{sum,j}. \quad (3)$$

Естественно предположить, что в процессе конкурентного распределения свободных участков принимают участие те землепользователи, относительный ресурс которых достаточно большой, выше некоторого положительного порога $Th_{R,r}$, т.е. те землепользователи, для которых $R_{relative,j} > Th_{R,r}$. Кроме того, центр выбирает того землепользователя, который может заплатить наибольшую арендную плату за рассматриваемый участок.

Схема выбора землепользователя для каждого свободного участка состоит в следующем.

Каждый землепользователь определяет, активен ли он для того, чтобы арендовать данный участок. Он активен, если его относительный ресурс $R_{relative,j}$ и капитал C_j достаточно велики. Для проверки активности проверяются два условия *А* и *Б*:

Условие А. Сначала землепользователь оценивает, хватит ли у него ресурса для обработки нового участка. Если величина относительного ресурса $R_{relative,j}$ больше определенного порога, $R_{relative,j} > Th_{R,r}$, то землепользователь считает, что ресурса у него достаточно и переходит к оценке условия *Б*.

Условие Б. Если условие *А* выполнено, то землепользователь определяет, достаточно ли у него капитала C_j для того чтобы он был активным, для этого при-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

быль от участка (за вычетом аренды) должна быть больше определенного порога Th_{Pr}.

Если условия *А* и *Б* оба выполнены, то землепользователь принимает решение о том, что он активен, т.е. он может принимать участие в конкурсе для аренды рассматриваемого участка. И землепользователь намечает новую арендную плату за участок, которую готов платить: ту, которую назначил центр, плюс небольшая доля, пропорциональная ожидаемой прибыли:

$$A_{ji} = A_{i0} + d\ Pr_{ji}\ , \qquad (4)$$

где d – коэффициент увеличения аренды землепользователями ($d > 0$). Планируемые значения арендной платы A_{ji} землепользователь с помощью легких агентов-посланников сообщает в центр.

Центр, получив информацию о размерах арендной платы, выделяет землепользователя, который готов заплатить за аренду больше других, и намечает *новую цену* аренды, равную предложенной максимальной арендной плате в этом периоде. Очевидно, что больше всех готов заплатить тот арендатор, у которого больше всего свободного капитала C_j и достаточно относительного ресурса $R_{relative,j}$ для обработки нового участка.

После определения победителя, его свободный капитал C_j уменьшается на величину стоимости аренды рассматриваемого участка, и увеличивается суммарная производительность участков этого землепользователя $k_{sum,j}$ на величину про-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

изводительности приобретенного участка k_i, и, соответственно, уменьшается относительный ресурс $R_{relative,j}$ этого землепользователя ($R_{relative,j} = R_j / k_{sum,j}$).

После того, как центр определил победителя конкурса для какого-либо участка, этот победитель может принимать участие в дальнейшем конкурсе по другим сдаваемым в аренду участкам, но уже с новыми значениями свободного капитала C_j и относительного ресурса $R_{relative,j}$. Аналогичным образом центр выставляет на конкурс все оставшиеся участки, свободные в данном периоде T.

В конце периода каждый землепользователь оплачивает арендную плату за арендуемые участки и его капитал уменьшается на величину арендных выплат:

$$C_j = C_j - Ar_j \,, \tag{5}$$

где Ar_j – расходы на аренду j-го землепользователя. Рассчитывается суммарная прибыль центра от аренды всех участков:

$$Pr_{centra}(T) = \sum_{j=1}^{N} Ar_j \,. \tag{6}$$

В конце периода (т.е. по прошествии года) в модели рассчитывается общий прирост капитала каждого землепользователя. Этот прирост определяется величиной сложившегося к этому моменту свободного капитала C_j и суммарной производительностью участков этого землепользователя $k_{sum,j}$ по формуле:

$$\Delta C_j = k_{sum,j}\, F(C_j) \,. \tag{7}$$

Также в конце периода учитываются расходы землепользователей, а именно все капиталы C_j умножаются на коэффициент $k_{decrease}$ ($0 < k_{decrease} < 1$, при модели-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

ровании обычно полагалось, что $k_{decrease}$ = 0.9). Часть этих расходов можно рассматривать и как учет инфляции.

Кроме этого, считается, что в течение периода ресурс каждого землепользователя случайно немного варьируется. Характерная величина вариации ресурса равна ΔR.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Модель исследовалась путем компьютерного моделирования. Ниже приведены результаты моделирования для следующих параметров:

– количество периодов: $T = 50$,
– общее количество участвующих в распределении земельных участков землепользователей: $n = N = 10$,
– количество свободных каждый год участков: $K_{max} = 5$ или $K_{max} = 20$,
– параметр функции прибыли $F(x)$: $a = 0.3$,
– порог прибыли, при превышении которого землепользователь готов брать в аренду землю: $Th_{Pr} = 0.5$,
– порог относительного ресурса, при превышении которого землепользователь готов брать в аренду землю: $Th_{R,r} = 0.1$,
– коэффициент увеличения аренды: $d = 0.1$,
– характерная вариация ресурса землепользователя: $\Delta R = 0.1$,
– коэффициент учета расходов землепользователя: $k_{decrease} = 0.9$,

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

– коэффициент установки начальной арендной платы A_{i0} центром: k_{arenda} = 0.03.

Начальные капиталы C_j, ресурсы R_j и суммарная производительность $k_{sum,j}$ каждого землепользователя исходно были случайными и были равномерно распределены в интервале [0,1].

Рассмотрим сначала зависимость суммарного среднего капитала землепользователей от времени (номера периода *T*) и количества свободных участков *K* в периоде *T*. Результаты представлены на рис. 1.

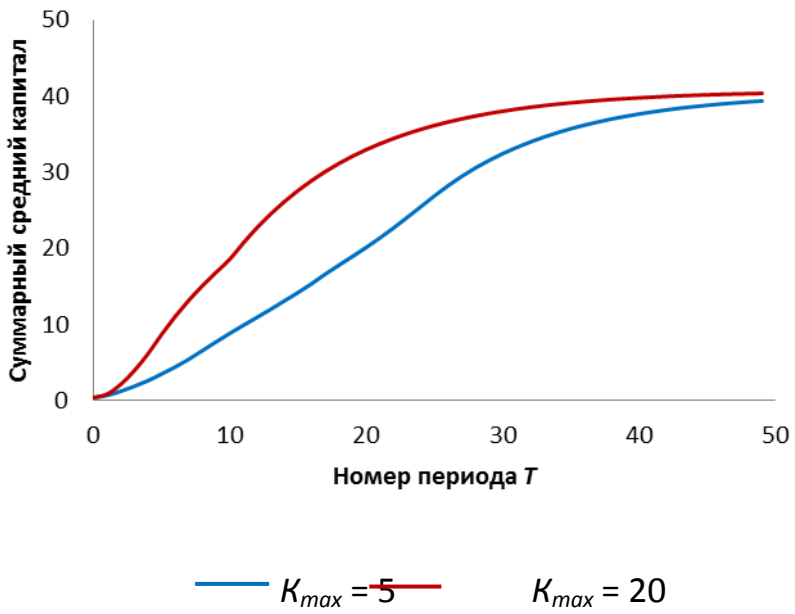


Рис. 1. Зависимость суммарного среднего капитала землепользователей от номера периода *T* при разных K_{max} (количество землепользователей, участвующих в конкурсе *n* = 10)

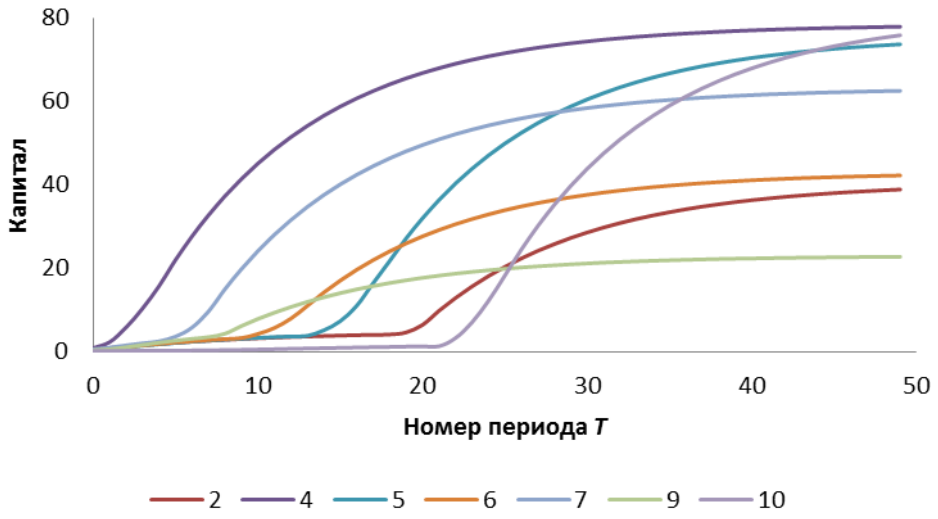
Кривые соответствуют случаям $K_{max} = 5$ и $K_{max} = 20$. Видно что, когда дефицита земельных участков нет ($K_{max} = 20$), прибыль у землепользователей больше, так как каждый имеет больше шансов арендовать участок. При $K_{max} = 5$ земельные участки могут арендовать вначале только те землепользователи, которые

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

имеют больший капитал, остальные же получают эту возможность, когда более «богатые» землепользователи исчерпывают свой относительный ресурс.

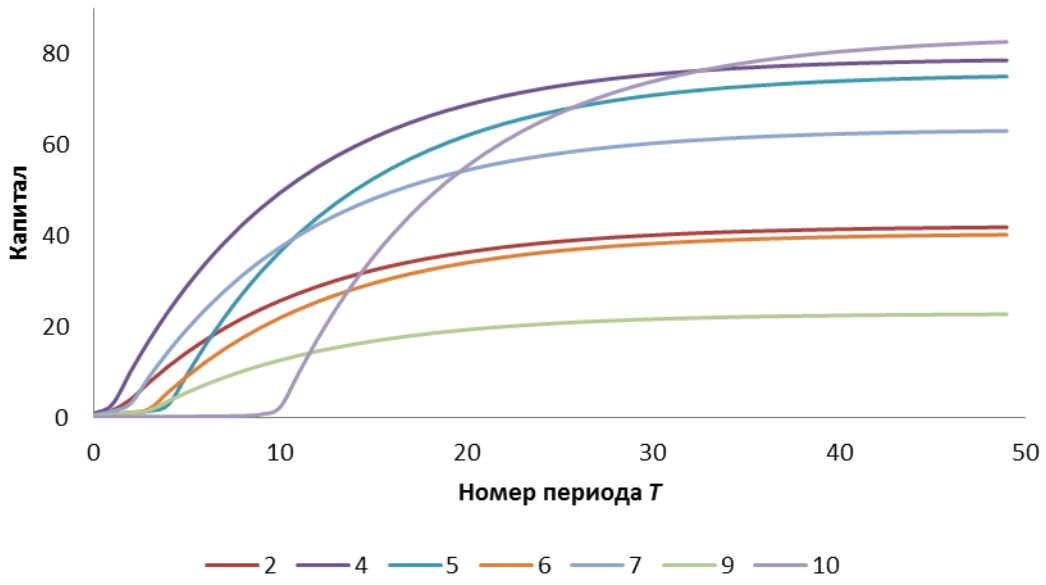
Рассматривалась динамика капиталов и суммарной производительности участков для разных землепользователей. На рис. 2 представлены зависимости капиталов землепользователей от номера периода. Видно, что капитал семи из десяти землепользователей растет. Начальные капиталы трех землепользователей оказались настолько малы, что его не хватало для производства достаточного продукта, капитал их падал, и эти землепользователи прекращали свою деятельность.

Анализ расчетов показывает, что сначала землепользователям не хватает капитала, чтобы получить достаточную прибыль, превышающую порог Th_{Pr} = 0.3, но с течением времени они используют уже имеющиеся в их распоряжении участки и получают при этом прибыль. Их капиталы растут, и землепользователи получают возможность арендовать новые участки.



© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

а) количество свободных участков K_{max} = 5

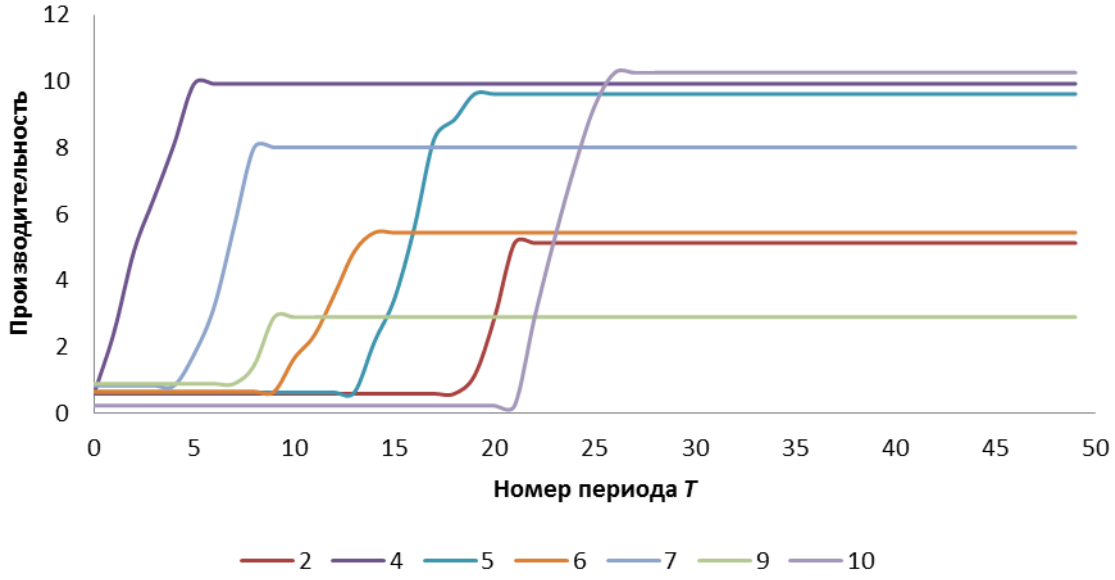


б) количество свободных участков K_{max} = 20

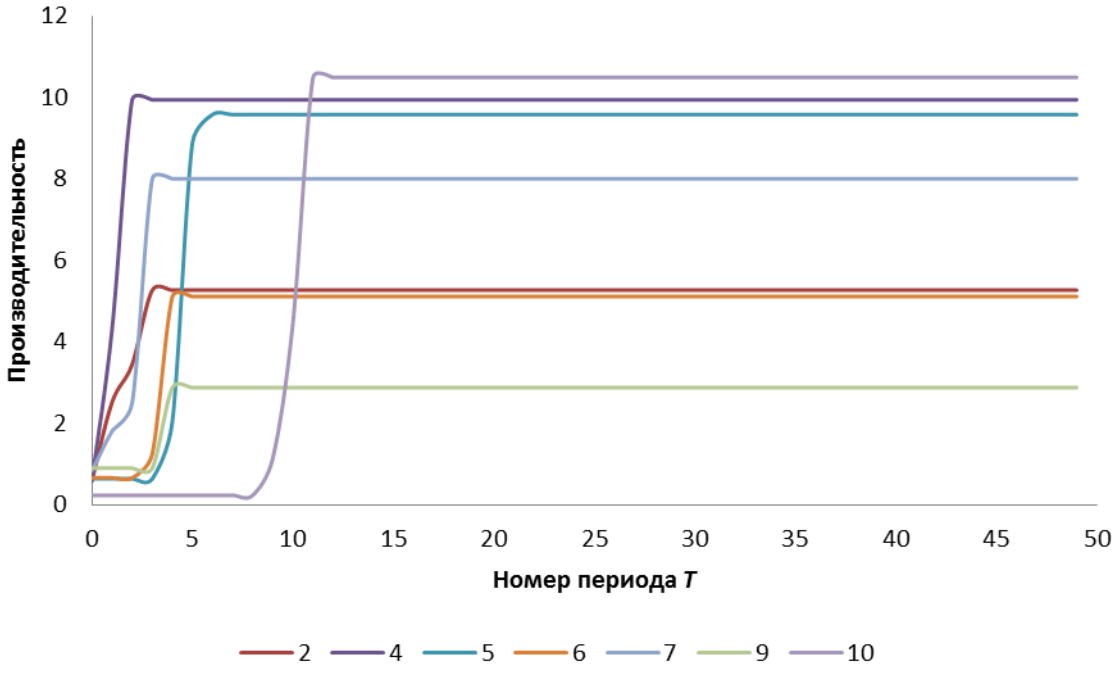
Рис. 2. Зависимости капиталов землепользователей от номера периода *T* (количество землепользователей, участвующих в конкурсе *n* = 10, цифрами 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10 обозначены номера землепользователей, землепользователи под номерами 1, 3, 8 не представлены, так как их ресурс не позволяет им участвовать в конкурсе)

При аренде новых участков у землепользователя возрастает суммарная производительность участков $k_{sum,j}$. Но при этом уменьшаются относительные ресурсы землепользователя: $R_{relative,j} = R_j / k_{sum,j}$. Поэтому дальше эти землепользователи только очень редко могут арендовать новые участки, так как им не хватает ресурса для обработки участков большего размера. Рис. 3 показывает динамику суммарной производительности для каждого землепользователя при K_{max} = 5 и K_{max} = 20.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru



а) количество свободных участков K_{max} = 5



б) количество свободных участков K_{max} = 20

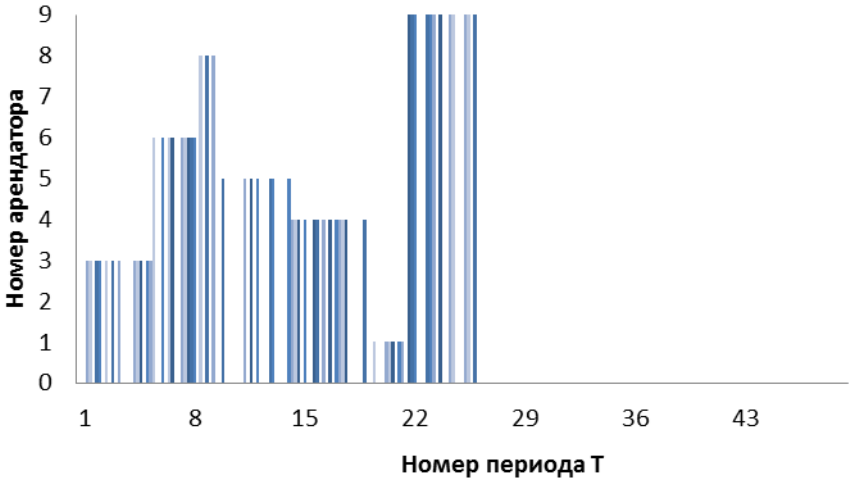
Рис. 3. Динамика суммарной производительности для каждого землепользователя (количество землепользователей, участвующих в конкурсе *n* = 10; цифрами 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10 обозначены номера землепользователей, зем-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

лепользователи под номерами 1, 3, 8 не представлены, так как их ресурс не позволяет им участвовать в конкурсе)

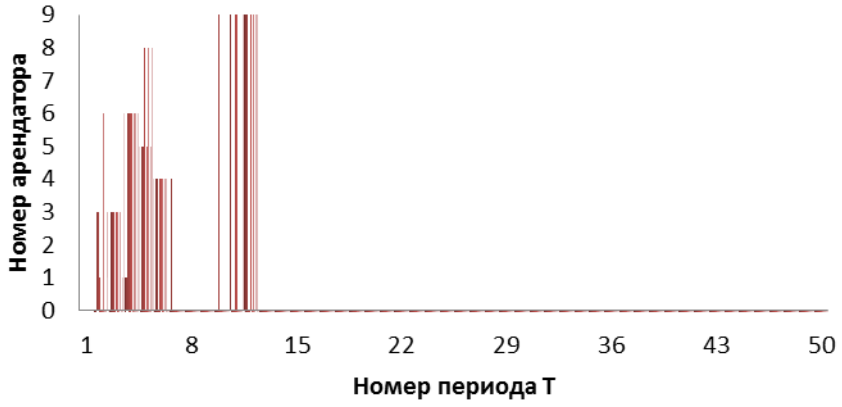
Различная динамика производительностей на рис. 3*а* и 3*б* обусловлена тем, что не хватает участков всем землепользователям, которые могут арендовать землю, поэтому их производительность растет медленнее, чем при избытке участков.

На рис. 4 видно, что при K_{max} = 20 сделки аренды заключаются чаще в начале моделируемого процесса (при сравнительно небольших *T*) . Общее количество успешных сделок аренды на всем периоде исследования при K_{max} = 5 составляет 67, а при K_{max} = 20 успешны 81 сделки. Т.е. у землепользователей при K_{max} = 5 достаточно ресурса для обработки большего количества участков, но при нехватке земли, они не могут его использовать.



а) количество свободных участков K_{max} = 5

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru



б) количество свободных участков K_{max} = 20

Рис. 4. Динамика заключения сделок аренды для каждого землепользователя (количество землепользователей, участвующих в конкурсе *n* = 10)

Исследовалась также зависимость прибыли центра от времени при различных K_{max}. На рис. 5 видно, что прибыль центра сначала растет, так как землепользователи активно арендуют землю, когда же относительный ресурс землепользователей становится меньше порога, прибыль становится постоянной.

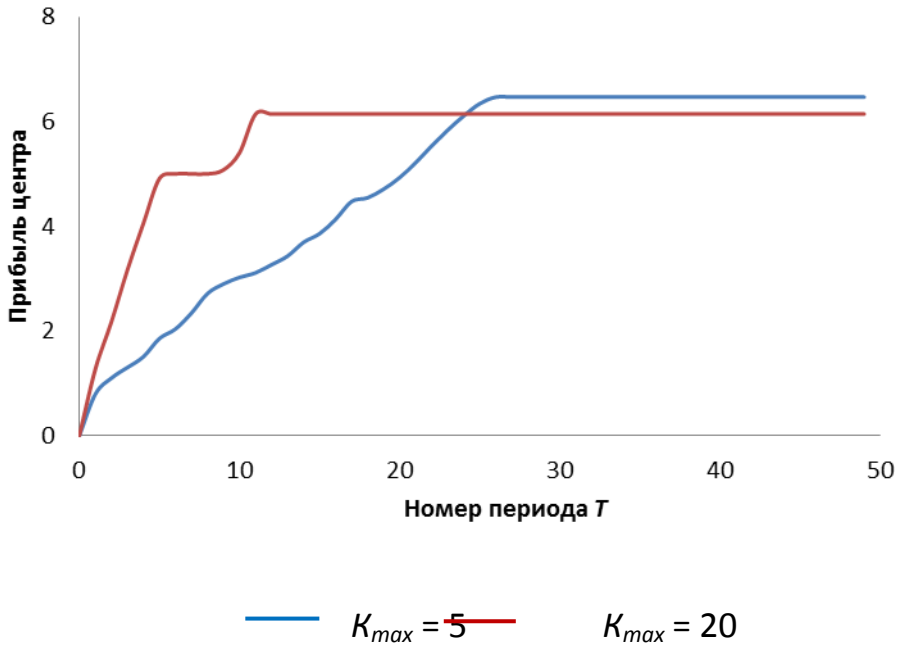


Рис. 5. Зависимость прибыли центра от времени (номера периода *T*)

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Вполне, естественно, что суммарная прибыль центра выше, если участков больше, чем конкурсантов. Если же смотреть с другой стороны, мы получаем, что в среде, где конкуренция среди землепользователей выше, модель сходится к более высокой арендной плате, что и проиллюстрирует рис. 5. При K_{max} = 5 расходы на аренду у землепользователей сходятся к большей величине, нежели чем при K_{max} = 20.

В приведенной модели не рассматривалось появление новых землепользователей и возможности перевода оборотного капитала в ресурс для обработки земли. То есть, арендатор, исчерпав свой ресурс, дальше не имеет возможности расширяться. В дальнейшем предполагается расширить модель с учетом этих факторов.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, построена многоагентная модель взаимодействия центра и землепользователей малого региона. Продемонстрирована работоспособность модели и получены результаты компьютерных экспериментов. Проанализировано влияние параметров на исследуемые процессы. Модель показывает вполне естественную динамику капиталов и производительностей землепользователей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 13-01-00399.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

ЛИТЕРАТУРА

1. Буздалов И.Н. (2014) Опыт и результаты аграрных реформ в Китае и России // АПК: экономика и управление. № 12. С. 3-18.
2. Bert, F.E., Podestá, G.P., Rovere, S.L., Menéndez, A., North, M., Tatara, E., Laciana, C.E., Weber, E., Ruiz Toranzo, F. An agent based model to simulate structural and land use changes in agricultural systems of the argentine pampas // Ecological Modelling. 2011. Vol. 222, No. 19. PP. 3486-3499.
3. Гуртуев А.О., Деркач Е.Г., Иванов З.З., Нагоев З.В. (2010) Моделирование поведения экономических агентов на локальных рынках с информационной асимметрией. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН. – 116с.
4. Редько В.Г., Сохова З.Б. (2013) Многоагентная модель прозрачной рыночной экономической системы // Труды НИИСИ РАН. – Т. 3. – № 2. – С. 61-65.
5. Редько В.Г., Сохова З.Б., Редько О.В. (2013) Многоагентная модель честной рыночной экономики // Искусственные общества. Т. 8, № 1-4. С. 63-76. URL: http://artsoc.ru/upload/iblock/91f/91f14d8d53a5897055807b82ac80c5d7.pdf

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Субъективный образ мира и политический выбор агентов: исследование динамики общественной распределительной системы в долгосрочном периоде

© Машкова А.Л., Новикова Е.В. (Орел)

В последние годы агент-ориентированное имитационное моделирование набирает все большую популярность как инструмент анализа и прогнозирования сложных социально-экономических процессов. Одной из традиционных сфер применения агентного подхода, наряду с экономическими и миграционными процессами, является исследование динамики политических процессов, как легитимных, подобно голосованию в демократических странах (Макаров, Данков, 2002; Данков, 2006), так и нелегитимных, то есть социальной напряженности и актов протеста (Epstein, 2011).

Важной проблемой в разработке агент-ориентированных моделей социальных, в частности, политических, процессов была и остается интеграция знаний о когнитивных процессах человека, возможностей их формализации и компьютерной реализации с определенными социальными структурами, достаточными для создания среды принятия решений (Sun, 2006). Непосредственное использование известных когнитивных архитектур в агент-ориентированных моделях социально-экономических процессов является затруднительным по нескольким причинам. Во-первых, существующие архитектуры ориентированы на решение технических задач, а не на воспроизведение социального поведения. Во-вторых, реализация

сложной архитектуры требует значительных вычислительных мощностей. В технических системах, как правило, кооперируются от нескольких десятков до нескольких сотен агентов, в задачах социального моделирования задействованы десятки тысяч агентов, в то время как использование многоуровневых архитектур ограничивает это число (Машкова, 2014).

Авторами была предложена простая вычислимая архитектура План-Образ для моделирования процесса принятия социально значимых решений в искусственном сообществе. Архитектура получила свое название по основным понятиям когнитивной модели TOTE (*Test–Operate–Test–Exit; Проба-Действие-Проба-Выход*), разработанной Д. Миллером, Ю. Галентером, К. Прибрамом (Миллер и др., 1986). Преимуществами данной модели являются простота программной реализации и использование аппарата семантических сетей для представления доступной агенту информации. Данная архитектура уже была использована авторами при моделировании миграционных процессов (Савина (Машкова), 2011) и стратегий поиска на карте (Машкова, Кононов, 2015). Основные понятия в модели TOTE – *План* и *Образ*. Для агента *План* соответствует алгоритму, определяющему его поведение в среде. *Образ* агента – это совокупности доступных ему данных. При имитационном моделировании политических процессов значимыми являются следующие Образы агентов (Савина, Машкова, 2015):

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

1. *Объективный Образ Мира*, представляющий среду агентной модели. Каждый агент встраивается в *Объективный Образ Мира* через набор связей с его составляющими.

2. *Объективный Образ Агента*, включающий информацию о личных и социальных, экономических, политических характеристиках агента. К личным характеристикам относятся пол и возраст, к социальным – принадлежность к определенному классу. Экономической характеристикой является уровень дохода, а политической - избирательной право.

3. *Субъективный Образ Мира*, присущий отдельному агенту, отражается в модели через субъективные оценки уровня жизни.

В статье рассматривается агентная модель динамики общественной распределительной системы под действием политического выбора избирателей. Модель основана на допущении, что господствующие партии имеют различную социальную направленность (так называемые «левая» и «правая» партии), что отражается на их политических программах (Машкова, Новикова, 2015). Таким образом, все множество партий в многопартийной системе может быть сведено к двум основным группам в зависимости от их политических установок: «левая» партия вводит скользящую шкалу налогов, увеличивая налоговое бремя для наиболее состоятельных членов общества и одновременно пособия для наименее обеспеченных; «правая» же партия вводит единый налог и уменьшает пособия, способствуя за-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

креплению естественного неравенства, возникающего в капиталистической системе.

Избиратели принадлежат к классу собственников либо наемных рабочих. Экономические процессы в представленной модели отражены с точки зрения распределительной системы (рисунок 1). Предполагаем, что годовой национальный доход формируется как рента со средств производства, образующих национальное богатство. Поскольку средства производства принадлежат классу собственников, доход с них также принадлежит им за вычетом налогов в государственный бюджет и заработной платы наемным рабочим. Из государственного бюджета происходит выплата пенсий и пособий, которые также пополняют бюджеты домохозяйств. Эти допущения позволяют анализировать политические предпочтения избирателей без учета отраслевой структуры экономики, что является отдельной важной задачей.

Рисунок 1 – Структура распределительной системы в модели

Избиратели отдают предпочтение той партии, политическая программа которой, по их мнению, будет способствовать повышению их уровня жизни. Поскольку такая оценка крайне субъективна, в архитектуре агента заложены ограни-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

чения рациональности, позволяющие ему принимать решения в условиях неопределенности. В модели концепция ограниченной рациональности реализуется через сравнительную оценку уровня жизни агента с некоторым эталоном: уровнем жизни его знакомых, средним уровнем жизни по стране или уровнем жизни самых богатых членов общества. В зависимости от результатов оценивания агент делает выбор в пользу «левой» или «правой» партии.

Распределение голосов избирателей зависит от их оценки уровня жизни, который в свою очередь зависит от набора объективных и субъективных факторов. К объективным факторам, влияющим на принятие решение, относятся доходы домохозяйства, устанавливаемые правительством налоги и социальное обеспечение (Машкова, Новикова, 2015). Субъективные факторы связаны с личными оценками агента и обусловливают его ограниченную рациональность при принятии решения. В зависимости от своих убеждений агент будет сравнивать свой доход с одним из трех показателей:

– средним доходом или медианой дохода в обществе,

– доходом самых богатых членов общества,

– доходом ближайших знакомых.

Первые два показателя предполагают полную открытость и доступность информации о доходе всех членов общества, что в действительности трудно выполнимо. Хотя такие показатели как средний доход и медиана могут быть найде-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

ны в государственных статистических сборниках, в их расчете не может быть учтена теневая экономика. Также в различных регионах страны может сильно отличается уровень жизни при одинаковом доходе, поскольку некоторые группы расходов гораздо выше, чем в других (например, стоимость продуктовой корзины в северных регионах, жилье и транспорт в крупных городах и т.п.). Уровень жизни является более сложной для оценки величиной, чем просто количественный доход (Машкова, 2014), поэтому необходимо учитывать, какой информацией обладает агент, и ее возможные искажения.

Для расчета показателя «Доход ближайших знакомых» зададим сетевые взаимосвязи между агентами. Тесноту связей определим в диапазоне от 0 до 1 по следующим правилам:

0 – не знакомые между собой агенты;

0.1..0.3 – знакомые (соседи, коллеги);

0.4..0.6 – друзья;

0.7..0.9 – родственники.

Взаимосвязи отразим в квадратной матрице (таблица 1). Тесноту связи равную 1 агент имеет лишь с самим собой (главная диагональ матрицы). В общем случае теснота связи между агентом №i и №j может быть не равна тесноте обратной связи (от №j к №i). Это позволяет отразить такие случаи как известность некоторой личности, политика или актера, когда многие люди знают его, а он их – нет, или друзья отца могут знать его детей, а ребенок с ними еще не знаком.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Таблица 1. Сетевые взаимосвязи между агентами.

№ агента	1	2	..	j	..	n
1	1	0.6		0		0.3
2	0.2	1				
..						
i	0			0.8		0.1
..						
n	0.3			0.2		1

Для связей выполняется свойство транзитивности. Если агент №1 не имеет прямой связи с агентом №3 (теснота равна 0), но имеет с агентом №2 (например, дружескую теснотой 0.5), а агент №2 связан с агентом №3 (например, родственная связь теснотой 0.8), то теснота косвенной связи между агентами №1 и №3 будет равна произведению промежуточных связей (в описанном примере 0.5*0.8=0.4). Учет косвенных связей важен при моделировании процесса распространения информации. Информация об агенте будет открыта для другого агента, если связь между ними (прямая или косвенная) будет больше порогового значения.

Событийная структура модели складывается из трех блоков (рисунок 2).

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

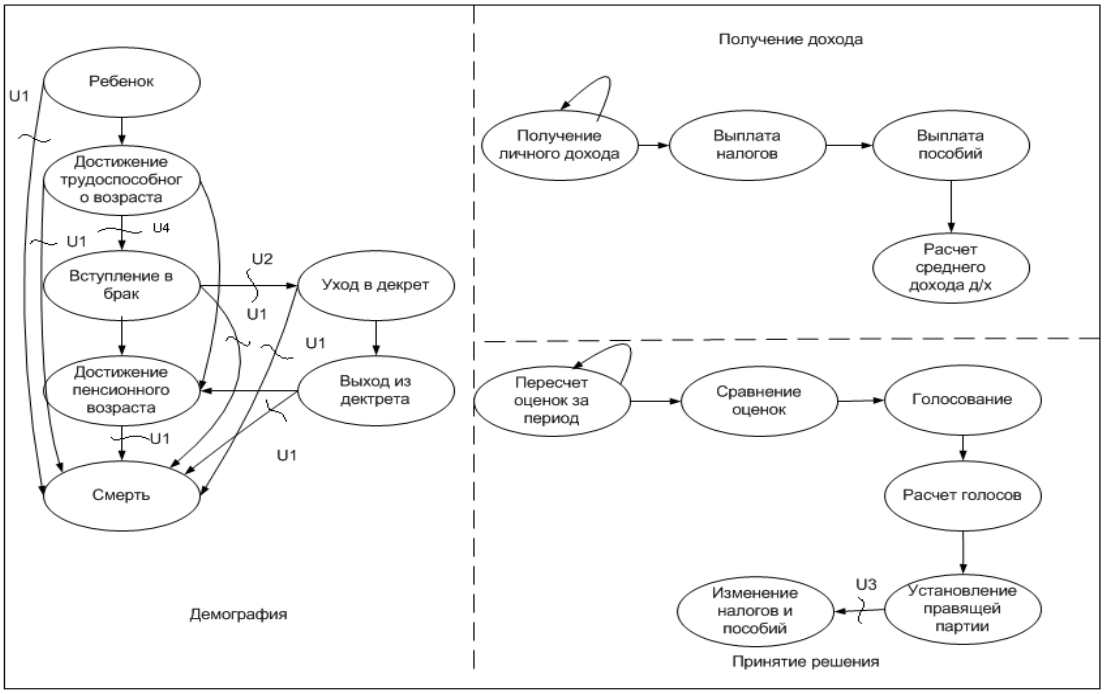


Рисунок 2 – Граф-схема агентной модели

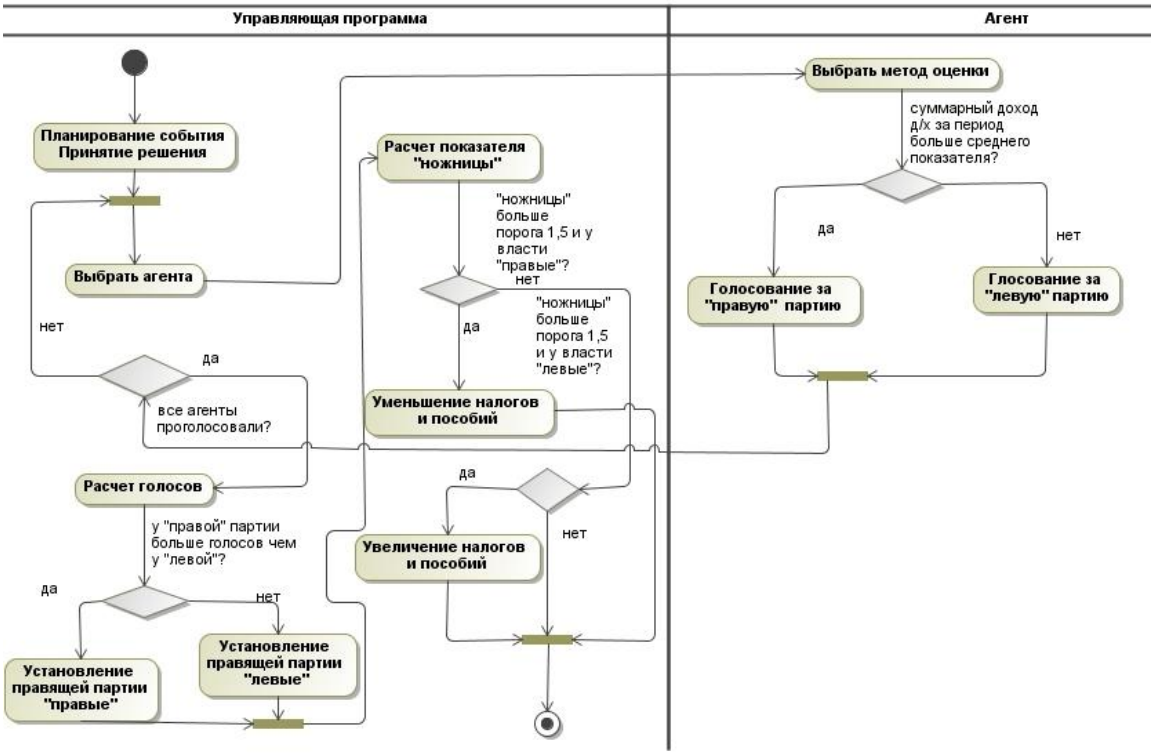
1. Блок «Демография» включает события: *Рождение, Достижение трудоспособного возраста, Вступление в брак, Уход в декрет, Выход из декрета, Достижение пенсионного возраста, Смерть*. На рисунке 1 обозначены условные переходы совершения событий: U1 – агент умирает, U2 – агент-женщина беременна, U4 – агент находит партнера.

2. Блок «Получение дохода» состоит из событий: *Получение личного дохода, Выплата налогов, Выплата пособий, Расчет среднего дохода домохозяйства*. Сначала происходит событие *Получение личного дохода*, когда агент получает доход в виде заработной платы или ренты без получения пособий и выплаты налогов. Затем происходит событие *Выплата налогов*, в зависимости от схемы налогообложения. После того как пополнился государственный бюджет, из которого

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

будут выплачиваться пособия происходит событие *Выплата пособий*, то есть к личному доходу за вычетом налогов пробавляется сумма пособия. В случае если агент достиг пенсионного возраста для наемных рабочих первые два события не происходят, а сразу наступает событие *Выплата пособий*. Далее происходит событие *Расчет среднего дохода домохозяйства*, где агент суммирует доход всей семьи и делит его на всех его членов, что показывает средний доход на каждого члена семьи.

3. События блока *Принятия решения* представляют процесс голосования за одну из двух партий (рисунок 3). Работа данного блока начинается с выбора агента и пересчета его суммарной оценки уровня жизни на одного человека его семьи в год. Затем агент оценивает доход в обществе по одному из описанных методов.



© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Рисунок 3 – Алгоритм блока «Принятие решения»

Состояние агента в момент голосования может быть описано парой переменных *УДА* – уровнем доходов агента, усредненным для домохозяйства, и *СУД* – средним уровнем дохода в обществе в соответствии с выбранным методом оценки. Возможны следующие сочетания переменных (Савина, Машкова, 2015):

УДА>=СУД, то есть агент проголосует на выборах, за правую партию, так как его субъективная оценка показывает, что его доход больше среднего.

УДА<СУД, то есть агент проголосует на выборах, за левую партию, так как его субъективная оценка показывает, что его доход ниже среднего.

Когда все агенты проголосовали, рассчитывается количество голосов за каждую партию и устанавливается правящая партия. В связи с тем, что политика левых партий всегда направлена на равноправие, а политика правых партий всегда за естественное неравенство, для регулирования политики партий используется принятое в социальных науках понятие «ножницы». Они представляют собой отношение дохода 10% самого бедного населения к 10% самого богатого. Если после определения правящей партии полученный в результате расчета коэффициент оказывается больше определенного порога, то левая партия (если она у власти) увеличивает доходы и пособия. Если коэффициент меньше порога, а у власти находится правая партия, то происходит уменьшение налогов и пособий (Машкова, Новикова, 2015). В иных случаях распределительная система не изменяется.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Модель предназначена для оценки динамики политических предпочтений в обществе в долгосрочном периоде, поскольку проводит анализ с точки зрения не конкретных партий, а их общей социальной направленности. Планируемые коллективом исследования на ретроспективных данных позволят выявить, как мнения отдельных личностей обусловливают колебания общественных взглядов в сторону «левых» или «правых», и насколько цикличным является данный процесс. Также исследования на основе ретроспективных данных помогут оценить правомочность сделанных при проектировании модели допущений, и определить, какими субъективными методами оценки руководствовались избиратели в прошлом. Не менее важным аспектом является учет социальной напряженности и риска возникновения революционных ситуаций, когда политическая система не способна достаточно быстро адаптироваться к общественным настроениям.

Список литературы

1. Данков А.Н. (2006) Модель электоральной конкуренции на многомерном пространстве политик / в сборнике под редакцией Данкова А.Н. и Цыганкова Д.Б. "Оценка политик и новая политическая экономия: инструменты анализа экономических реформ". - М.: ЦЭМИ РАН.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

2. Макаров В.Л., Данков А.Н. (2002) Межтерриториальная и электоральная конкуренция: сравнительный анализ влияния политических институтов. WP/2002/032. - М.: Российская экономическая школа, 2002. -22 с.

3. Машкова А.Л. (2014)Бихейвиористический подход к моделированию социального поведения агентов. Ежеквартальный интернет-журнал «Искусственные общества». Том 9, номер 1-4, I-IV квартал 2014. С. 86-96.

4. Машкова А.Л. (2014) Интеллектуальный агент в социальной среде: нечеткие оценки и правила принятия решений // Известия ЮЗГУ. Серия «Управление, иноформатика, вычислительная техника». №3. С. 12-19.

5. Машкова А.Л. (2014) Когнитивная архитектура интеллектуального агента в имитационных моделях социально-экономических явлений // Ученые записки ОГУ. Серия «Гуманитарные и социальные науки» №5. С. 78-81.

6. Машкова А.Л., Кононов Н.С. (2015) Сравнительный анализ процессов принятия решений интеллектуальными агентами с различными когнитивными ограничениями // Сборник трудов XV международной научной конференции "Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2015" им. Таран Т.А. - К. : Просвіта – С.138-145.

7. Машкова А.Л., Новикова Е.В. (2015) Проектирование агентной модели протекания политических процессов в двухпартийном демократическом государстве [Электронный ресурс] // Международная научно-практическая интернет-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

конференция «Информационные системы и технологии» [сайт] [2015] URL: http://youconf.ru/isit2015/materials/manager/view/514 (дата обращения: 19.05.2015)

8. Миллер Д., Галантер Ю., Прибрам К. (1986) Планы и структура поведения. В кн.: История зарубежной психологии. М.: МГУ, С 97-116.

9. Савина (Машкова) А.Л. Алгоритмические аспекты построения агентной модели миграционных потоков. Пятая всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД 2011; 1:255-259.

10. Савина О.А., Машкова А.Л. (2015) Агент-ориентированное моделирование политических процессов с учетом ограниченной рациональности избирателей. ИзвестияТулГУ. Экономические и юридические науки.. Выпуск 3. Ч. I. С. 356-364.

11. Epstein J. (2011) Modeling Civil Violence: An Agent-Based Computational Approach. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. Vol. 99, No. 10.

12. Sun R. (2006) Prolegomena to Integrating Cognitive Modeling and Social Simulation. In: Cognition and Multi-Agent Interaction From Cognitive Modeling to Social Simulation. Cambridge Univirsity Press, P. 3-28.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Разработка инструментария моделирования отдельных аспектов региональной политики в области предоставления услуг высшего образования

© Ислакаева Г.Р. (Уфа)

Как известно, во второй половине прошлого десятилетия федеральным правительством была поставлена задача достижения мирового уровня в сфере высшего профессионального образования и науки. Эта задача решалась в ходе проведения определенной региональной (территориальной) политики, заключающейся в создании многочисленных научно-образовательных «точек роста» по территории страны. Роль «точек роста» должны были играть университеты, которым были присвоены специальные статусы: федеральный университет (ФУ) и национальный исследовательский университет (НИУ). Согласно Концепции создания и государственной поддержки развития федеральных университетов они должны играть «системообразующую роль в региональной среде вузов, будучи центрами сосредоточения научной и педагогической мысли» [1, 2].

Теперь, по прошествии достаточного количества лет, в литературе идет обсуждение того, насколько создание ФУ и НИУ продвинуло Россию по пути решения поставленной задачи достижения мирового уровня в сфере высшего образования. В основном обсуждается вопрос, насколько присвоение этих специальных статусов тому или другому университету адекватно результатам, которые эти учреждения показывают.

В этой связи представляет интерес вопрос, как территориальное размещение ФУ и НИУ как «точек роста» решает и может решить поставленные задачи наиболее эффективным образом.

В качестве возможного подхода к решению этой проблемы представляется перспективной теория центральных мест Кристаллера-Леша [3]. Согласно этой теории, поселения на однородной равнине размещаются по определенной геометрической системе, напоминающей пчелиные соты, в которых вокруг центрального поселения возникают более мелкие шесть поселений. Это связано с народнохозяйственными связями и минимизацией издержек на обмене товарами и услугами (рис.1). Теория основана на расчетах расположения поселений Южной Германии, проделанных ее авторами.

Для больших территорий и больших поселений эта теория не демонстрирует такой же убедительности в части построения шестиугольников. Но тем не менее легко заметить, что крупные города на больших территориях с примерно одинаковой плотностью населения располагаются на примерно одинаковых расстояниях. В Европейской части России – это примерно 400-600 километров. Соответственно они охватывают своим экономическим влиянием мелкие города и поселения в окружности 300-400 километров. Также в азиатской части России города Курган, Омск, Новосибирск, Красноярск, Иркутск, Чита, Благовещенск, Хабаровск, Владивосток находятся на расстоянии 600-1000 километров друг от друга, охватывая своим народнозяйственным влиянием окружающие более мелкие города вдоль южной части

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

российской Сибири и Дальнего Востока. Аналогичные закономерности можно увидеть в расположении городов на Восточном побережье США, юге Канады.

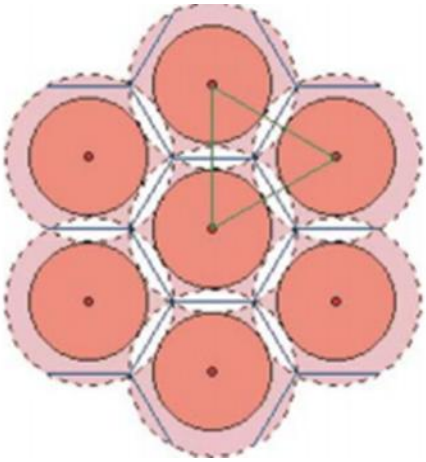


Рис.1 Расположение экономических центров в схеме кристаллической решетки (рисунок взят из источника: http://www.sworld.com.ua/konfer21/738.htm).

Этот формализованный метод исследования не требует создания сложных математических моделей (хотя может быть основой для формализации и алгоритмизации), позволяет проводить анализ графически, на основе географических карт. Проведенный нами на основе этого подхода анализ позволил сделать ряд выводов по поводу выполнения возложенной на ФУ и НИУ задачи системообразования для окружающих территорий и трансфера технологий и знаний (табл.1):

1. Функцию системообразования могут выполнять только четыре ФУ, образованные в Республике Татарстан, Ставропольском крае, Красноярском крае и Свердловской области, т.к. эти регионы окружены другими достаточно густо населен-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

ными регионами и вокруг этих ФУ, как «центральных точек» можно построить шестиугольники и пятиугольники из крупных и средних городов и регионов.

2. Остальные ФУ решают геополитические задачи укрепления территориальной целостности РФ и ограничены или не могут выполнять системообразующую функцию в федеральных округах. ФУ в г. Ростове-на-Дону ограничен в выполнении системообразующих функций, так как расположен в 60-100 км от границы РФ и вдали от других крупных населенных пунктов России. ФУ в Калининградской области, насчитывающей менее миллиона человек и территориально отделенной от основной части страны, очевидно, не может выполнять системообразующую функцию. ФУ в г. Архангельске и г. Владивостоке, расположенные на границах страны и вдали от других крупных населенных пунктов, способны охватить своим влиянием всего около 1 и 2 млн человек, соответственно. ФУ в г. Якутске также способен охватить всего 0,3 млн человек (а во всей Республике Саха-Якутия менее 1 млн чел.) и совершенно не может выполнять системообразующую роль в федеральном округе. Это хорошо видно на рис.2.
3. Большое количество НИУ в г. Москве конечно, выполняют функцию обеспечения страны новыми знаниями, но они не могут эффективно выполнять роль центра распространения новых образовательных технологий в силу концентрации в одном населенном пункте. Также, функцию производства новых технологий выполняют НИУ в г. Иркутске и г. Томске, но распространение технологий ограничено отдаленным их расположением от других крупных населенных пунктов.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

4. Обе функции – центра производства и распространения технологий (системообразующую роль) выполняют НИУ в городах: Казань, Самара, Новосибирск, Нижний Новгород, Саратов, Челябинск, Пермь.

Использование теории Кристаллера-Леша позволяет понять, что ряд ФУ и НИУ не выполняют функцию системообразования для окружающих территорий, так важную для мобилизации всех ресурсов страны для решения задачи повышения качества образования и науки и в конечном счете, экономики. Однако, на основе этого метода затруднительно решить вопрос, как же оптимально расположить ФУ и НИУ по территории страны и какое оптимальное их число должно быть. Применение этой теории ограничено также тем, что на больших территориях начинает играть роль наличие рек, гор и других природно-географических особенностей, тогда как сама теория основана на предположении об однородности территории и убедительно подтверждается эмпирическими данными для таких территорий.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

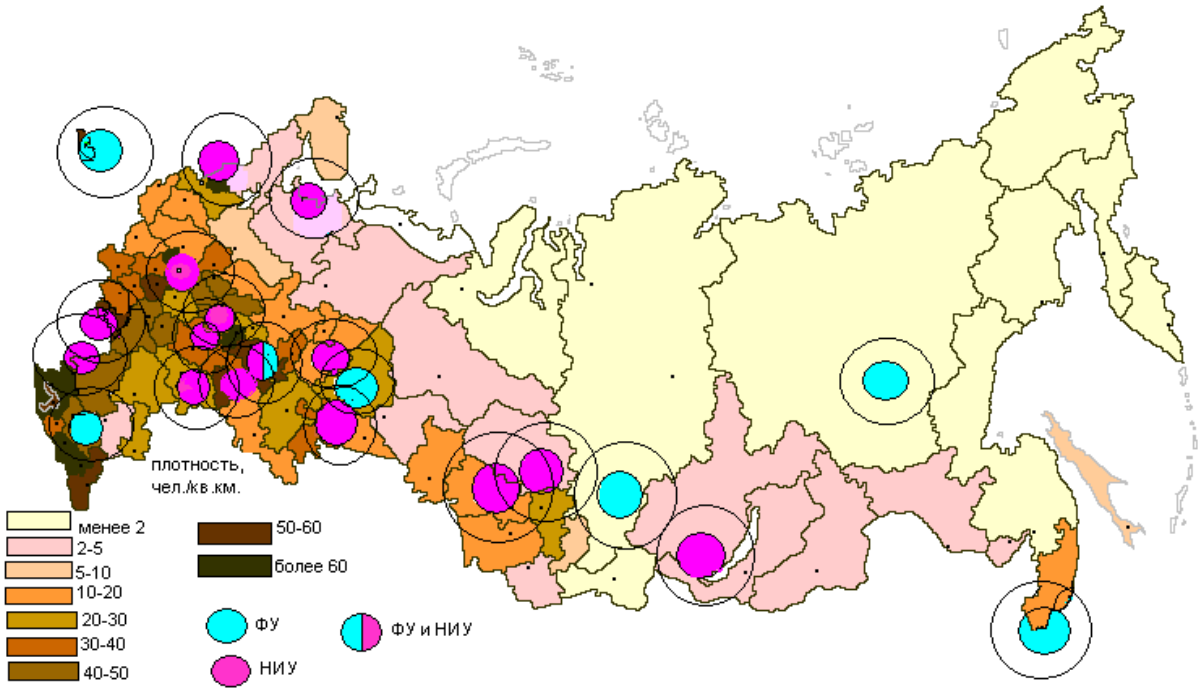


Рис.2. Расположение ФУ и НИУ по территории страны: анализ выполнения системообразующей функции с точки зрения охвата соседних населенных пунктов России

В этой связи, представляется перспективным использование агент-ориентированного моделирования, показавшему свою эффективность в решении многокритериальных пространственных задач [4, 5, 6].

Не вдаваясь в теоретическое обоснование преимуществ этого подхода (см. работы В.Л.Макарова, А.Р.Бахтизина, Никласа Лумана [7, 8]), перейдем к содержательному описанию этого подхода применительно к задаче размещения ФУ и НИУ по территории России с точки зрения выполнения системообразующей и трансфер-технологической функций.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Агентами первого типа в данной модели являются 10 ФУ и 29 НИУ, которые на первом этапе могут не дифференцироваться, с точки зрения обладания особым статусом, особо высоким финансированием, признанием особо высокого научного потенциала и налагаемой на них функцией системообразования – пусть это будут одинаковые агенты. Итого, таких системообразующих агентов фактически 39. Будем считать, что агенты-университеты могут «рождаться» (каким-то университетам присваивается статус ФУ или НИУ или они создаются «с нуля») или «умирать» (статус ФУ или НИУ у университета отзывается). В нашей модели, поскольку задачей является выяснение их расположения с точки зрения максимизации выполнения ими системообразующей функции, количество и расположение агентов-университетов не будет нами ограничиваться каким-то заданным числом. Их количество и расположение будет определяться в ходе действия модели на основе поведенческих функций и ограничений. Прежде чем описать поведенческие функции и ограничения, налагаемые на агенты-университеты, опишем других агентов, с которыми им надо взаимодействовать.

Поскольку агенты-университеты должны выполнять системообразующую функцию, то они взаимодействуют с другим научными и образовательными центрами, а также предприятиями – потенциальными потребителями знаний и квалифицированной рабочей силы. На первом этапе не будем проводить дифференциацию между ними, будем считать, что все эти потребности отражаются в населении, сгруппированном в поселения. Тем самым, агентами второго типа будут все поселения (боль-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

шие города, средние и малые города, муниципальные районы). Муниципальные районы выбраны в качестве поселений вместе с расположенными на их территории городскими поселениями, т.к. иначе количество агентов для дальнейшего реального моделирования представляется слишком большим (свыше 18500 сельских поселений в России, а деревень еще больше), и это не критично с точки зрения данной задачи.

Агенты-поселения отличаются двумя качествами: количеством населения и качеством населения в части потребностей знаний. Будем считать, что чем мельче поселение, тем менее технологически развиты производства в них, тем менее они наукоемкие и нуждающиеся в инновациях, также там непропорциально меньше потенциальных потребителей знаний среди населения и носителей знаний. Эту непропорциальность будем отражать квадратным корнем из численности населения. Т.е. интегральный показатель количества населения и его качества, который мы будем называть потенциалом поселения, будет выражаться корнем квадратным из численности населения:

$$Pj = \sqrt{Nj} \qquad (1)$$

Pj – потенциал поселения j (его потребность в знаниях и технологиях)

Nj – население поселения j

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Кроме того, поселение будет характеризоваться фактическими географическими координатами на карте Российской Федерации.

Агенты-поселения стационарны и распложены согласно их фактическому географическому положению в настоящее время (это начальное положение, потом оно может меняться в силу миграции населения и экономической активности, но это мысль для дальнейшего развития модели, не в этом проекте). Агенты-университеты могут совершенно свободно перемещаться по территории страны: будем считать, что в идеале, если это целесообразно, университет как системообразующий центр может быть создан в прямом смысле в «чистом поле», т.е. на месте, где и поселения в данный момент нет. Сколково в определенном смысле соответствует этой идее. Конечно, Сколково создали в Москве, но на ее краю, за МКАДом, и находится он между научными центрами (г.Долгопрудный (МФТИ), г.Дубна (центр ядерных исследований), г.Троицк (12 НИИ)), окружающими Москву, а не в одном из них (хотя обсуждался вариант расположения российской «Силиконовой долины» в одном из наукоградов около Москвы).

Вернемся теперь к описанию поведенческих функций и ограничений, налагаемых на агенты-университеты. Исходно, представляется целесообразным покрыть всю карту России агентами-университетами на равном расстоянии друг от друга, своеобразной сеткой. Расстояние между агентами-университетами целесообразно выбрать 250 км (в принципе, это может быть параметр, регулируемый в модели). Вы-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

бор числа 250 определяется тем, что это половина расстояния между крупными городами в европейской части России.

Системообразующая функция агента-университета, очевидно убывает по мере удаления агента-поселения от агента-университета, представим ее силу в виде убывающей функции (рис.3).

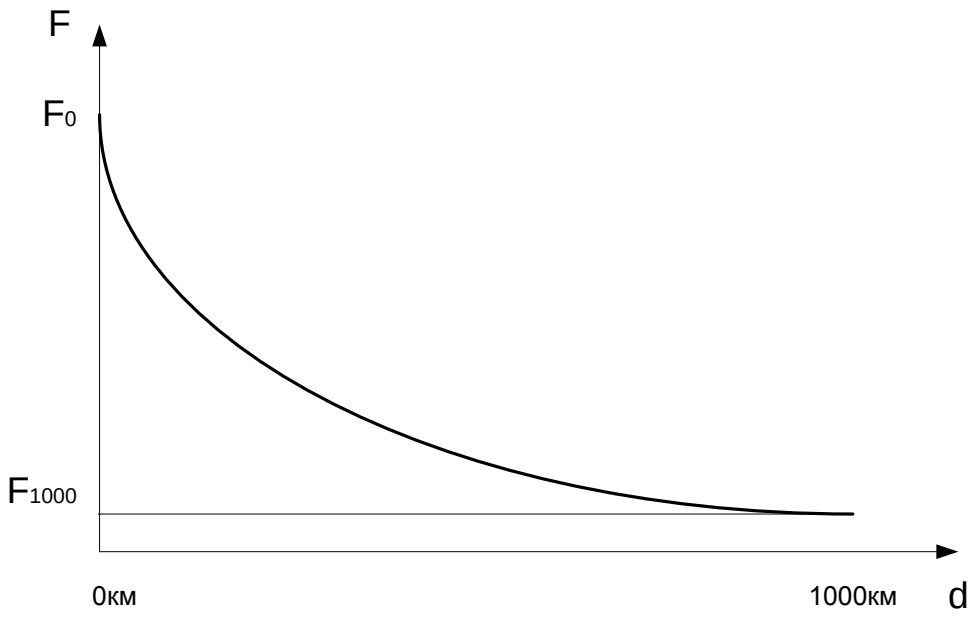


Рис. 3. Вид системообразующей функции агента-университета

Эту функцию аналитически можно представить в виде:

$$F(d) = A * (d + 50)^{-\propto} \qquad (2)$$

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Здесь F(d) – сила системообразующей функции агента-университета, зависящая от расстояния *d* до агента-поселения.

d – расстояние между агентом-университетом и агентом-поселением

α – коэффициент убывания силы

50 км. – это средний размер города и одновременно число, исключающее обращение F в бесконечность при d=0.

Чтобы уменьшить число произвольно выбираемых параметров, дадим количественное определение коэффициентам *A* и α из следующих соображений. Во-первых, будем исходить из того, что сила влияния F драматически падает на расстоянии 1000 километров – расстояние, превышающее примерно в два раза расстояния между большими городами в европейской части России и максимальное в азиатской ее части. Это отношение:

$$\frac{F(0)}{F(1000)} = k, \qquad (3)$$

где k – экзогенно задаваемый параметр, примерно равный 20-100, что означает, что на расстоянии 1000 километров системообразующее влияние агента-университета ослабевает до величин между 5% и 1% от его влияния в месте нахождения самого агента.

Из (3) и (2) можно получить значение для α:

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

$$\alpha = \log_{21} k \qquad (4)$$

Т.е. логарифм *k* по основанию 21. Тогда (2) будет иметь вид:

$$F(d) = A * (d + 50)^{-\log_{21} k} \qquad (5)$$

Коэффициент А определим из условия нормирования: F(0)=1:

$$A = 50^{\log_{21} k} \qquad (7)$$

Что дает выражение для системообразующей функции:

$$F(d) = \left(\frac{50}{d+50}\right)^{\log_{21} k} \qquad (8)$$

Если экзогенному параметру *k* будет задано значение, например, 21, то значение логарифма в показателе функции (8) станет равно 1 и значение функции (8) при d=1000 км окажется 1/21, т.е. системообразующее влияние агента-университета ослабеет на расстоянии 1000 км в 21 раз, достигнув примерно 5% от «эпицентра». Если экзогенному параметру *k* будет задано значение 441 (квадрат 21), то значение логарифма в показателе функции (8) станет равно 2 и значение функции (8) при d=1000 км окажется 1/441, т.е. системообразующее влияние агента-университета ос-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

лабеет на расстоянии 1000 км в 441 раз. Тем самым, выражение в правой части (8) отражает смысл, который мы придали экзогенному параметру *k*.

Итак, системообразующая сила агента-университета определяется выражением (8), а потенциал поселения, отражающий его потребность в агенте-университете определяется выражением (1). Это позволяет нам определить результат их взаимодействия как эффективность действия системообразующей силы F на потенциал поселения P в виде их произведения:

$$E(d) = F(d)*P \qquad (9)$$

Процесс эмуляционного эксперимента в агент-ориентированной модели будет выглядеть следующим образом. На первом этапе, все агенты-университеты перемещаются из точки, где находятся, в точку, где они максимизируют суммарный эффект действия их системообразующей силы. Этот суммарный эффект подсчитывается по формуле:

$$\mathrm{E}_{ij} = \sum_{j \in \Omega_i} F_{ij}(d_{ij}) * P_j \qquad (10)$$

Где E*ij* – эффект действия системообразующей силы агента-университета *i* на агент-поселение *j* в регионе Ωi;

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Ωi – территория, представляющая собой круг диаметром 1000 км и с центром в месте расположения агента-университета *i*.

dij – расстояние между агентом-университетом *i* и агентом-поселением *j*.

Область θi, в пределах которой агент-университет ищет точку максимизации E, должна быть ограничена, т.к. иначе все агенты-университеты собрались бы в одной точке страны (это оказалась бы Москва, конечно). Определим область θi, как концентрический круг диаметром 250 км (размер шага сетки). Процесс выбора нового места расположения агента-университета можно организовать как случайное блуждание в пределах области θi, в поиске максимального значения E (при этом Ωi будет определяться каждый раз относительно места нахождения агента-университета i , т.е. двигаться вместе с агентом, охватывая новые агенты-поселения и теряя часть тех, которые были). Также, процесс поиска нового места можно организовать в виде двушагового алгоритма. На первом шаге агент-университет производит своеобразное маркетинговое исследование: не перемещаясь физически, производит по формуле (10) расчет эффекта действия системообразующей силы из углов 5-ти концентрически расположенных шестиугольников (теория Кристаллера-Леша) на расстоянии 50 километров от места текущего расположения (выбор числа 50 определяется средним размером больших городов) (рис.4).

При этом область Ωi и область θi не выходят за границы Российской Федерации (если граница оказывается ближе чем формальная граница области Ωi, то для

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

целей моделирования она оказывается усеченной по географической границе страны). На втором шаге агент-университет перемещается в тот угол одного из шестиугольников, в котором достигается максимальное значение суммарного эффекта действия системообразующей силы E.

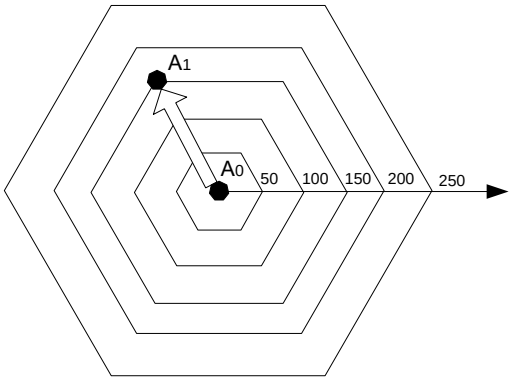


Рис.4. Область и структура поиска агентом-университетом места максимизации суммарного эффекта системообразующей функции (перемещение из A_0 в A_1)

В результате такой оптимизации все агенты-университеты, по всей стране займут позиции, где они максимизируют свой суммарный эффект действия системообразующей силы. В принципе, ожидаемая картина – это сместившиеся агенты-университеты относительно узлов первоначальной сетки, покрывающей страну. Другой ожидаемый эффект – это в большинстве случаев агенты-университеты окажутся в больших городах, т.к. всякое удаление от них сильно уменьшает значение суммарного эффекта E. Однако, в некоторых случаях, в областях, покрытых прибли-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

зительно одинаковыми и небольшими городами, агент-университет может найти себя «в чистом поле».

На втором этапе моделирования необходимо оптимизировать число агентов-университетов. Некоторые из них могут оказаться близко друг от друга, на расстоянии, соответствующем размеру большого города (50 км), или очень большого города (100 км.), хотя и не находиться в реально существующем в России городе. В этом случае целесообразно объединить их в один агент-университет. Объединение будет заключаться в «умирании» обоих агентов-университетов и «рождении» нового, в точке на линии, которая соединяет оба объединяющихся агента, где максимизируется значение функции E, вычисляемой по формуле (10).

Третий этап моделирования также заключается в оптимизации числа агентов-университетов. На первом этапе моделирования должно участвовать приблизительно 280 агентов-университетов (чтобы покрыть территорию страны площадью 17,1 млн. км. с шагом 250 км.). После второго этапа моделирования это число несколько убавится, за счет слияния близкорасположенных агентов, но незначительно. Ориентиром для нас является число 39 – сумма ныне существующих ФУ и НИУ (исходим из того, что специальная бюджетная поддержка для ФУ и НИУ ограничена примерно этим числом). Кроме того, некоторые агенты-университеты окажутся в своеобразной пустыне (расположенные, например, на крайнем Севере), с ничтожным значением суммарного эффекта действия системообразующей функции E. Если выстроить агенты-университеты по порядку убывания значения их функции E, то ожи-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

даемый вид полученного графика будет представлять собой нисходящую кривую, с резким скачком где-то в первой четверти графика (рис.5):

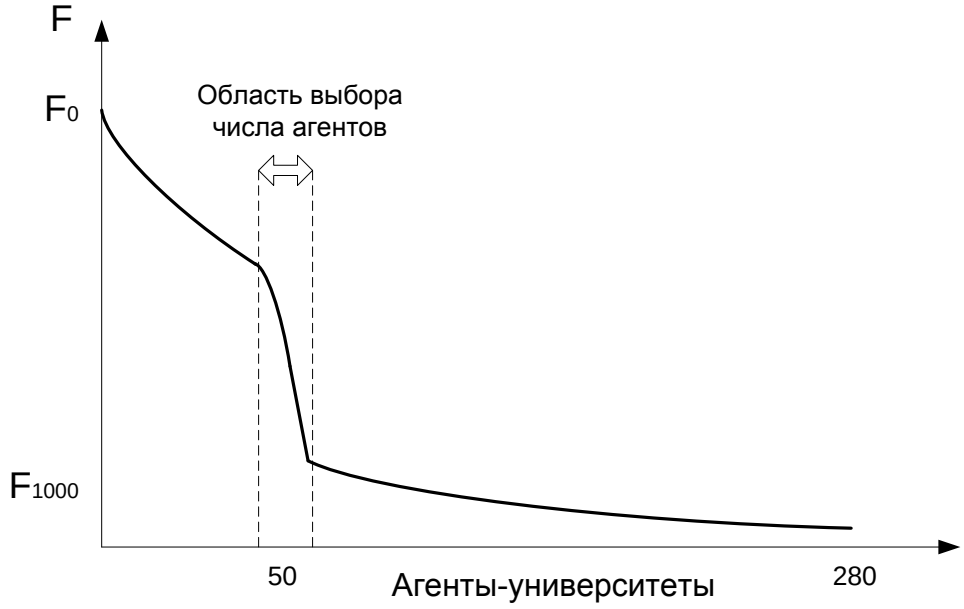


Рис.5. Область выбора оптимального числа системообразующих университетов на ожидаемом графике их распределения по значению суммарного эффекта действия системообразующей силы E.

Этот скачок связан с переходом распределения агентов-университетов из относительно густонаселенных территорий страны в малозаселенные. Соответственно, в области этого скачка (рис.5) следует выбирать оптимальное для страны число системообразующих университетов.

В качестве агентов-поселений выступают 1100 городов России, 1660 городских поселений, 1850 муниципальных районов. В стране насчитывается 18500 сельских поселений, но такая детализация в целях моделирования не представляется целесообразной. Таким образом, общее число агентов-поселений, которые необходимо

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

ввести в модель, насчитывает 4610 муниципалитетов (городские округа, городские поселения и муниципальные районы).

При моделировании целесообразно использовать базу данных, сформированную для реализованной в ЦЭМИ РАН агент-ориентированной модели социально-экономической системы России (см. стр. 68-70, 119-144 в [7])

Таким образом, на данный момент мы имеем постановку в терминах агент-ориентированного моделирования задачи оптимального размещения ФУ и НИУ по территории страны, как одного из видов проведения региональной политики федерального центра в области высшего образования. В частности, описаны агенты модели, их поведенческие функции, по которым они будут принимать решения в агент-ориентированной модели. Данная постановка задачи агент-ориентированного моделирования с подробной спецификацией агентов готова для компьютерного моделирования в целях дальнейших научных исследований.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-36-50233 мол_нр

Использованная литература

1. О конкурсном отборе программ развития университетов, в отношении которых устанавливается категория «национальный исследовательский университет» / Постановление Правительства Российской Федерации от 13.05.2009г. №550.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

2. Концепция создания и государственной поддержки развития федеральных университетов / Приложение к протоколу заседания межведомственной рабочей группы по приоритетному национальному проекту «Образование» при Совете при Президенте Российской Федерации по реализации приоритетных национальных проектов и демографической политике от 29.09.2009 АФ-33/03пр.

3. Гранберг А.Г. (2000) Основы региональной экономики. — М.: ГУ ВШЭ. — С. 52. — 495 с

4. Зулькарнай И.У. (2014) Задача агент-ориентированного моделирования распределения функций по вертикали в асимметричной федерации // Вестник Башкирского университета. Т. 19. № 4. С. 1249-1255.

5. Зулькарнай И.У.(2014) Моделирование горизонтальной конкуренции юрисдикций // Ежеквартальный Интернет – журнал «Искусственные общества». Том 9. № 1-4. С.133-143

6. Зулькарнай И.У., Гизатов Н.Р. (2011) Агент-ориентированная модель влияния размера заработной платы на мотивацию работодателей вводить инновации // Известия Уфимского научного центра РАН. № 2. С. 98–106.

7. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. (2013) «Социальное моделирование- новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М.: Экономика. – 295 с.

8. Луман, Н. (2007) Социальные системы. Очерк общей теории / Пер. с нем. И. Д. Газиева; под ред. Н. А. Головина. — СПб.: Наука. — 648 с

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Логистические центры России. Имитационное моделирование товаропотока в России.

© Белоусов Ф.А, Дарсавилидзе Д.С. (Москва)

Введение

Россия является самой крупной по территории страной на земном шаре, поэтому логистика имеет крайне важное значение для экономики РФ. На данный момент в этой сфере существует множество проблем связанных, прежде всего, с устареванием и недостатком соответствующей инфраструктуры (нехватка дорог, ненадлежащее качество дорожного полотна, нехватка логистических центров). По некоторым оценкам доля логистических издержек составляет 20-24% от ВВП России, что более чем в 2 раза превышает среднемировой уровень [5]. Что касается логистических центров, то кроме того, что в России по сравнению с развитыми странами таких центров построено крайне мало, распределение их по территории страны очень не равномерное – по имеющимся оценкам на 2013 г. почти 60% всех площадей качественных складских помещений России находятся в Московском регионе. Похоже, что в ближайшее время эта диспропорция сохранится или возможно даже увеличится (об этом говорят планы по строительству ЦКАД и связанные с этим планы по возведению значительного по объему складских площадей). В ряде случаем это приводит к большому перепробегу товара. Есть примеры, когда попадающий во Владивосток импортный товар транспортируется в Москву для хранение на складе, после чего отправлялся обратно во Владивосток уже для того, чтобы попасть на прилавок магазина. Поэтому очевидно, логистическая структура в России далека от

совершенства и она требует пристального внимания со стороны властей на самом высшем уровне.

В данной работе рассматривается подход на основе имитационного моделирования, позволяющий выявить проблемные места в логистической системе РФ и выработать рекомендации для их разрешения. Имитационный подход достаточно широко используется для решения логистических задач в рамках отдельно взятых компаний. Примером моделей подобного класса может послужить модель Adaptive Supply Chain [1], в которой рассматривается фирма, изготавливающая и продающая некоторый товар на территории США. Другим примером модели этой категории является модель Product Delivery [2]. С этими и другими логистическими моделями можно ознакомиться здесь [3]. Тем не менее, авторы данной статьи не встречали модели, в которых рассматривалась логистика товаров не одной отдельно взятой фирмы, а логистическая цепочка всей страны. В данной работе сделана попытка построения такой модели. Здесь мы попытались учесть значительную часть производимых в России и импортируемых в нее потребительских товаров. При этом в модели берутся в расчет только те товары, которые выставляются на прилавках качественных торговых центров (ТЦ), т.е. в основном это продукты питания, бытовая химия, мебель, бытовая техника и пр., соответственно поток промышленных товаров и некоторые категории потребительских товаров рассматриваться не будут (например продажа автомобилей в рассмотрение не входит). В модели весь перечень товаров

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

заменяется одним агрегированным товаром, обладающим случайными характеристиками.

Под качественными торговыми центрами подразумеваются современные ТЦ, которые начали появляться на территории нашей страны примерно со второй половины 90-х годов. Наиболее известными примерами таких центров являются гипермаркеты Ашан, Леруа Мерлен и др. К таким центрам также относятся многопрофильные ТЦ, которые в большом количестве возводятся в крупных городах, например возле станций метро. В свою очередь, качественные торговые центры обслуживаются качественными логистическими центрами (склады класса А и В, более подробно про классификацию можно узнать в [8]), поэтому в работе под складами будут подразумеваться именно качественные складские помещения.

Данные, которые используются в модели это данные взятые из Госкомстата о производстве и импорте продукции, о численности и благосостоянии населения. Дополнительно использовались внешне-торговые показатели за 2013 г. [6]. Очень важными для этой модели являются данные по площадям качественных складских и торговых комплексов в городах РФ. Эти данные были собраны и предоставлены консалтинговой компанией Knight Frank.

Необходимо отметить, что данные, на основе которых была выполнена работа, актуальны на момент конца второго квартала 2014 года. Вычислительные мощности позволили авторам осуществить прогноз в полученной модели на количество периодов, которое соответствует началу 2016 года. Таким образом, модель позволяет

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

осуществлять прогнозирование на 1,5 года вперед. При наличии больших вычислительных мощностей горизонт прогнозирования может быть увеличен. При этом необходимо отметить, что прогноз, который делает модель на первые полгода, не является релевантным, поскольку в течении примерно первых 180 периодов (период соответствует одному дню) модель выходит на некоторую равновесную траекторию развития. Мы предполагаем, что это равновесное состояние является глобально устойчивым и не зависит от начальных значений переменных моделей. Эта гипотеза подтверждается рядом вычислительных экспериментов.

В заключении этого раздела отметим, что имитационное моделирование является относительно новым подходом для решения задач связанных с логистикой. Существуют и другие, более классические задачи и методы их решения. Так, классической задачей является задача об оптимальном транспортном потоке, в которой необходимо найти наиболее экономный план перевозки однородного продукта или взаимозаменяемых продуктов из пункта производства (станции отправления) в пункт потребления (станции назначения). Эта задача является частным случаем задачи линейного программирования, существуют специальные методы для решения задач подобного класса. Одним из таких методов является метод потенциалов [4]. Однако в данной работе задача о выборе оптимального транспортного пути не ставится.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Построение модели

Для построения имитационной модели учитывается следующая концепция логистических цепочек (см. блок-схему в приложении 2):

- Потребители в крупных городах имеют изначальный товар; по истечении срока использования они генерируют спрос, заказывая нужный товар у ближайшего ритейлера
- Ритейлеры продают товары потребителям и при достижении порогового уровня делают заказы у дистрибьюторов
- Дистрибьюторы владеют логистическими центрами или арендуют складские площади, отправляя товар ритейлерам и заказывая их у производителей или импортеров при достижении своего порогового уровня
- Производители с ограниченной пропускной способностью конвейера создают товар по заказу дистрибьюторов
- Импортеры при получении заказа от дистрибьюторов отправляют товар на таможню
- Таможенные терминалы оформляют товар согласно своей пропускной способности

В качестве базовой модели для проектирования нашей модели была выбрана уже упоминавшаяся во введении модель Adaptive Supply Chain [1], которую также

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

можно найти в примерах системы AnyLogic (в версиях 7.1 и выше). В данной модели рассматривается организация поставок на территории США продукции некоторой фирмы. Однако у нее по нашему мнению имеется ряд недостатков, которые будут учтены в модели логистической системы России. Среди основных недостатков модели Adaptive Supply Chain можно отметить:

- Отсутствие дорожной сети. В данной модели связи между агентами представлены в виде прямых линий, по которым движется груз. Такое допущение может быть использовано для модели товарных потоков в США, где существует развитая система межштатных автомагистралей, но для России с ее низкой связностью городов обязательно построение сети.
- Отсутствие импорта. Внутреннее производство в США практически полностью покрывает внутренний спрос, что позволяет не учитывать импорт в модели. Для России необходимо учесть наличие импортеров.

Следующие особенности данной модели при построении модели логистических потоков учитываться не будут:

- Поставка деталей производителям. Поскольку достаточная часть товаров импортируются в Россию, учитывать поставщиков деталей не имеет большого смысла

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

- Количество фур у дистрибьютора. Дистрибьюторы могут арендовать дополнительные фуры или прибегать к услугам транспортных компаний для перевозки товаров, поэтому можно не ставить ограничение на количество фур.

Стратегия пополнения запасов будет характеризоваться двумя уровнями при непрерывной проверке фактического уровня (рис. 1), т.е. если текущий уровень запасов опускается ниже некоторого определенного минимального уровня, то дается заявка на пополнения запаса товара до верхнего максимального уровня. При этом максимальный уровень может быть динамическим и пропорциональным площади торговых центров и складских помещений.

Рис. 1. Система с двумя уровнями при непрерывной проверке фактического уровня запаса

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Поскольку разные дистрибьюторы в одном городе независимы друг от друга и суммарное движение товаров в городе будет более плавным, использование подобной системы для одного агрегированного агента не является точным моделированием запасов в городе. Однако такое моделирование позволяет описать экстремальные ситуации одновременной нехватки товаров у разных дистрибьюторов.

Схема построенной модели изображена на рис. 2.

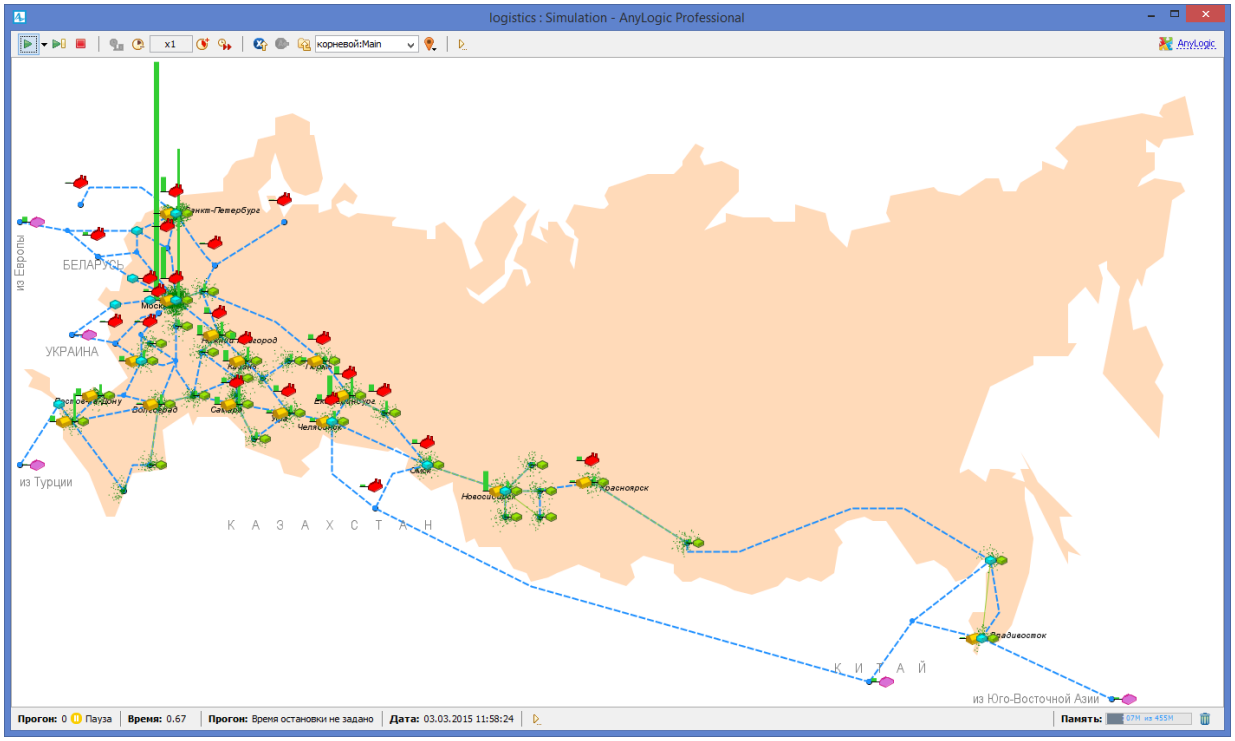


Рис. 2. Модель логистических потоков

Модель построена в масштабе 1:5000. То есть, один агент в модели соответствует 5000 агентам в жизни. В описываемой модели масштабируется количество потребителей, площади складских и торговых помещений, а также объемы производ-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

ства и импорта. Подобное масштабирование необходимо для уменьшения требуемого объема памяти.

Агенты одного типа, расположенные в одном городе, агрегированы. Агрегация торговых и логистических центров реализует предпосылку о зависимости агентов внутри города друг от друга и о равномерном спросе на товар в одном городе.

Модель построена с учетом агрегации товаров. То есть, товар в модели имеет усредненные характеристики всех видов продаваемых в торговых центрах товаров.

Поскольку пики сезонности на разные виды товаров приходятся на разные периоды времени (пик сезонности продуктов приходится на июль-август, пики сезонности одежды приходятся на весну и осень, наибольший спрос на технику наблюдается в ноябре и декабре), спрос на агрегированный товар распределяется по всему году практически равномерно, и в разрабатываемой модели сезонностью можно пренебречь.

Потребители

Количество потребителей определяется на основе данных по численности населения городов на 2014 год. При этом, в модели предусматривается возможность увеличения количества потребителей. Численность населения изменяется в соответствии с годовыми данными динамики с 2013 по 2014 год. Каждый месяц модель проверяет изменение населения и создает новых потребителей в случае положительной динамики. Отрицательная динамика населения в модели не рассматривает-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

ся, поскольку максимальное годовое падение численности населения составляет 0,2% и может считаться статистическим выбросом.

Поведение потребителя моделируется с помощью диаграммы состояний, отраженной на рис. 3.

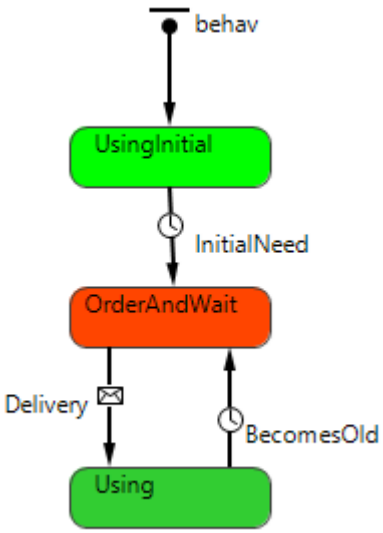


Рис. 3. Диаграмма состояний потребителя

В начале работы модели потребитель находится в состоянии UsingInitial и имеет необходимый товар. В момент устаревания товара он переходит в состояние OrderAndWait, обращается в ближайший торговый центр, где его заказ регистрируется и обслуживается в случае наличия товара. При получении товара потребитель переходит в состояние Using, в котором продолжает находиться до момента завершения использования товара. Поскольку потребителям, за редкими исключениями, не свойственно ехать за товарами в другой регион, агент будет всегда прикреплен к

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

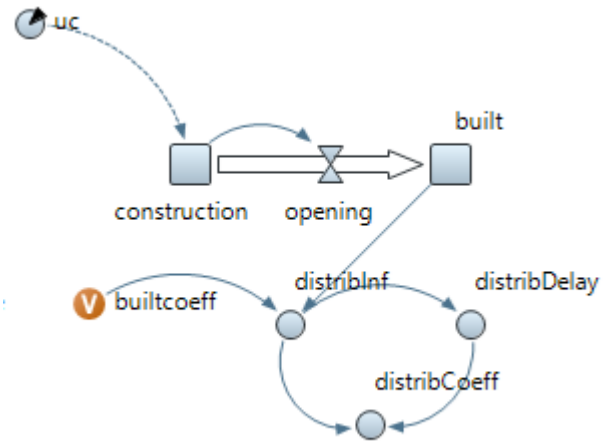
ближайшему региону с торговыми центрами и будет ожидать поступление товара в случае его отсутствия.

Время устаревания изначального товара равномерно и составляет от 0 до 160 дней, время устаревания приобретенного в период работы модели товара имеет треугольное распределение с минимальным временем работы 64 дня и максимальным временем 320 дней. Цифры соответствуют усредненному сроку покупки новых товаров: потребители покупают новую одежду раз в 2-3 месяца, новую технику и мебель раз в 8-10 месяцев. Треугольного распределения используется в качестве аппроксимации нормального распределения, которое крайне сложно с точки зрения вычислений реализовать в модели при большом количестве потребителей.

Торговые центры

Поток заявок торговых центров зависит от запаса товара в торговом центре и потока заявок потребителей.

Ввод новых помещений отражается с помощью системной динамики (рис. 4):



© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Рис. 4. Динамика строительства торговых центров

Из-за кризиса в модели не рассматриваются проектируемые торговые центры, площади торговых центров реализованы с помощью резервуаров. Системная динамика в модели работает по следующему правилу:

$$construction_t = \frac{uc_t}{365}; \quad uc_t = \left(\frac{364}{365}\right)^t uc_0 \tag{1}$$

где uc_t – переменная, отвечающая за то, сколько осталось достроить торговых центров до запланированного объема; $construction_t$ - объем построенных площадей в момент времени t, т.е. объем построенных площадей в интервале времени от 0 до t будет равен $\sum_{\tau=0}^{t} construction_\tau$.

Данный алгоритм предполагает сдачу 64% строящихся торговых площадей в течение за год, ввод остальных торговых центров будет затягиваться дальше. Такой алгоритм позволит учесть возможность заморозки некоторых объемов строящихся торговых центров. Поскольку новые центры не могут открываться каждый день, в модели реализована дискретизация обновления с помощью события: максимальный уровень заполняемости помещений обновляется раз в месяц. Пример результата этой системно-динамической модели при начальной площади 100 тыс. кв. м. и строящихся площадях 50 тыс. кв. м. показан на рис. 5.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

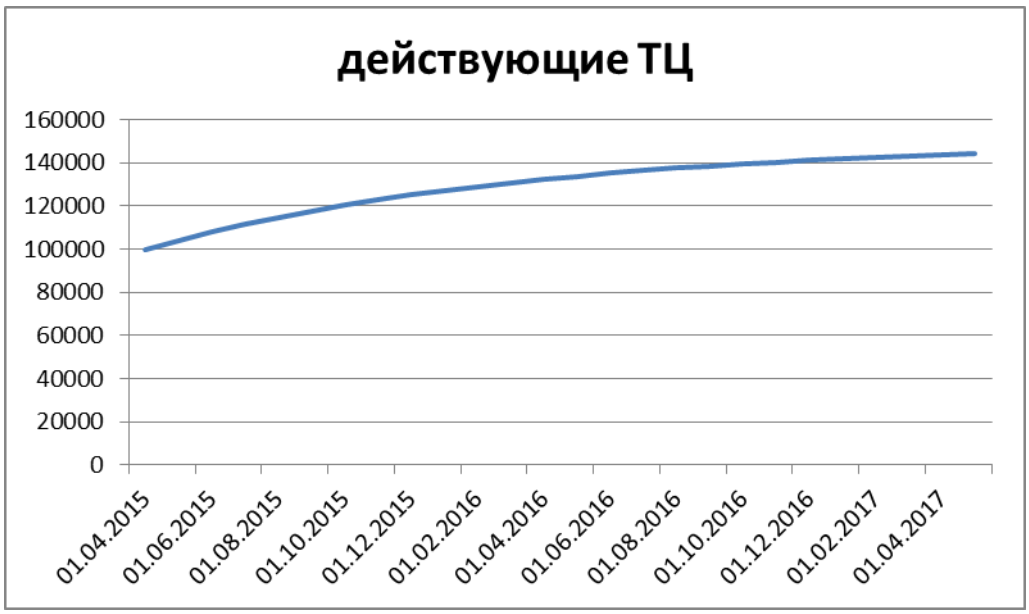


Рис. 5. Пример роста суммарной площади торговых центров

При достижении порогового значения количества запасов товара, ритейлер осуществляет заказ продукта у ближайшего дистрибьютора, имеющего данный продукт в наличии. При этом количество товара на складе не имеет значения. Если товара недостаточно, он будет довезен ритейлеру после пополнения запасов у дистрибьютора.

Логистические центры

Количество товаров на квадратном метре складских помещений логистических центров оценено экспертным путем и составляет 10 товаров на квадратный метр.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Строительство новых складских помещений зависит от площади торговых центров. В ходе регрессионного анализа данных была обнаружена следующая зависимость:

$$\ln(LogisticCenters) = -1{,}075 + 1{,}008\ln(TradeCenters) \quad (2)$$

$$R^2 = 0{,}59$$

Таким образом, если в некотором регионе А торговых центров будет на 1% больше чем в некотором другом регионе В, то в среднем складских помещений в регионе А будет на 1,008% больше чем регионе В. Использование логарифмической зависимости оправдано в связи с большим разбросом городов по объему торговых и логистических помещений (Москва и Санкт-Петербург имеют гораздо больше помещений, чем остальные города вместе взятые). В модели мы будем допускать, что прирост качественных торговых площадей в некотором городе на 1% влечет за собой прирост качественных складских площадей на 1,008%. Коэффициент прироста складских помещений distribCoeff определяется отношением текущего объема торговых помещений к предыдущему.

$$distribCoeff_t = \left(\frac{builtstore_t}{builtstore_{t-1}}\right)^{1{,}008} \quad (3)$$

На рис. 6 показана модель динамики изменения складских площадей.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

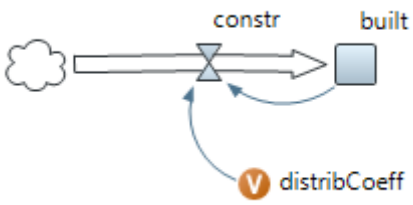


Рис. 6. Динамика строительства логистических центров

$$\frac{\partial built_t}{\partial t} = built_t \times (1 - distribCoeff_t) \quad (4)$$

Дистрибьюторы производят заказ продукта у ближайшего поставщика с наличием готового товара при достижении минимального порогового уровня. Если у поставщика недостаточно товара для пополнения запасов, дистрибьюторы заказывают у ближайших производителей весь товар в наличии и обращаются к другому производителю для пополнения. Это связано с тем, что объем производства товаров в некоторых регионах недостаточно высокий, и не имеет смысла перегружать заводы заказами.

Поставщики

Поставщики в имитационной модели разделены на два типа: отечественные производители и импортеры. Отечественные производители осуществляют производство товаров со скоростью, пропорциональной производственным мощностям, до момента заполнения собственных складов и при востребовании товара отправля-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

ют его дистрибьюторам. Импортеры хранят на границах и при востребовании отправляют его в ближайший свободный таможенный терминал.

Дистрибьюторы выбирают поставщиков в соответствии с их расположением. В случае с отечественными производителями учитывается расстояние от производителя до логистического центра, при работе с импортерами определяется сумма расстояний от точки привоза импортных товаров до таможенного терминала и от терминала до дистрибьютора. Выбирается поставщик с минимальным расстоянием, которое должен проделать груз.

Схема работы производителя отражена на рис. 7

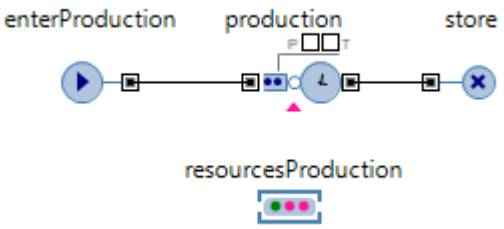


Рис. 7. Процесс производства товара

Производство товара начинается при достижении минимального уровня запасов и продолжается до максимального уровня. Данный подход позволяет учесть возможность отсутствия спроса на товар у производителя, в результате чего описанный производитель не будет создавать новые товары до момента увеличения спроса. Производитель использует собственные мощности resourcesProduction и выпускает товар партиями каждые 2 недели.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Импортеры осуществляют заказ товара из-за рубежа при достижении минимального уровня запасов. При этом мощности перевозок импортеров ограничены. Это связано с тем, что часть товаров доставляется в Россию по морю, а арендовать большое количество барж сложнее и более затратно, чем арендовать дополнительные фуры. Процесс импорта схож с процессом производства (рис. 8)

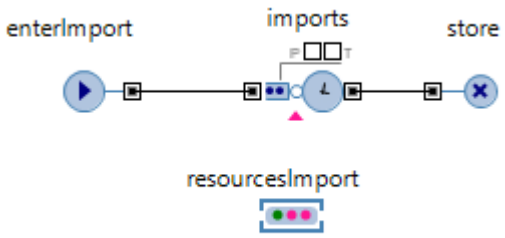


Рис. 8. Процесс импорта товара

Вместе с отправкой товара импортер отправляет таможенному терминалу сообщение о количестве ожидаемого товара и местоположении дистрибьютора, которому данный товар необходимо доставить.

Объемы производства и импорта, приходящегося на ритейл, оценены на основе данных о категориях производимых и импортируемых товаров [6] и составляют 35% от всего объема производства и импорта.

Импорт из Белоруссии и Казахстана представлен как отечественное производство, поскольку не требует прохождения процедуры таможенного оформления.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

В модели отражены страны с денежным значением импорта свыше 1 миллиарда долларов: Китай, страны Юго-Восточной Азии, Турция, страны Европейского союза.

Таможенные терминалы

Таможенные терминалы получают товар от импортеров вместе с информацией о заказах дистрибьюторов. Это сделано для того, чтобы из таможни можно было доставить продукт дистрибьюторам. Процесс оформления товара показан на рис. 9.

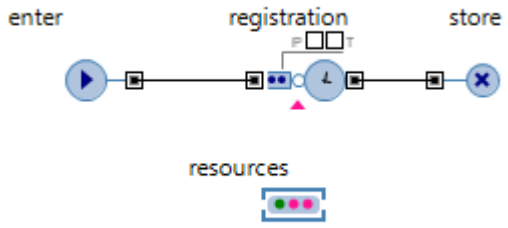


Рис. 9. Процесс таможенного оформления

При поступлении заказа от логистических центров, импортеры выбирают таможенный терминал с минимальным значением перепробега товара (разницей между расстоянием перевозки через таможенный терминал и прямым расстоянием от импортера до логистического центра).

Оформление груза происходит в течение 2 дней, что соответствует среднему времени. Ресурсы таможенных терминалов соответствуют количеству таможенных терминалов в регионе. Для того чтобы не переполнялись ближайшие таможни, вве-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

дено максимально возможное количество товара в очереди на оформление, соответствующее семикратному количеству ресурсов, поскольку максимальное время ожидания оформление может составлять до 14 дней.

Расположение таможенных терминалов в Росси было взято из источника [7].

Грузоперевозки

Моделирование грузоперевозок осуществлено с помощью схемы процесса, отраженной на рис. 10.

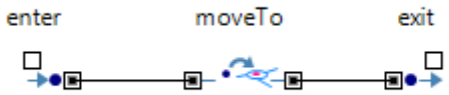


Рис. 10. Модель процесса грузоперевозок

Команда moveTo задает перемещение груза в место назначения по сети автомагистралей со скоростью 600 километров в день, что соответствует средней скорости передвижения груза по автомобильным дорогам. В сети используются автомагистрали федерального значения, перевозки по которым составляют большинство грузоперевозок по России, а также дороги, соединяющие Россию с зарубежными странами, по которым прибывают импортные товары. В сеть также включены морские пути Калининград-Санкт-Петербург и Владивосток – страны Юго-Восточной Азии (Япония, Южная Корея).

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Использование сети для моделирования грузоперевозок необходимо для определения уровня загруженности дорог и транспортных узлов.

Результат работы модели

Как уже было отмечено во введении, модель тестировалась на данных, актуальны на момент июль-август 2014 г. Прогноз осуществлялся на 1,5 года вперед, т.е. до начала 2016 г. При больших вычислительных мощностях горизонт прогнозирования может быть увеличен. Важной особенностью модели является тот факт, что примерно первые 180 периодов (один период равен одним суткам) модель выходит на некоторое равновесное состояние, другими словами модель выдает релевантную информацию только начиная с января 2015 г. машинного времени. Связано это с тем, что в начальный момент многие процессы в модели находятся на нулевом уровне, например нет потоков грузов. Мы предполагаем, что указанное равновесное состояние является глобально устойчивым и не зависит от начальных значений переменных модели. Эта гипотеза подтверждается рядом вычислительных экспериментов.

Модель показала, что при достижении минимального порогового уровня запасов на складах крупных городов происходит всплеск активности перевозки грузов. Это оказалось особенно заметно при достижении минимального уровня запасов в Волгограде и Челябинске. Подобные всплески активности происходят каждые 120-

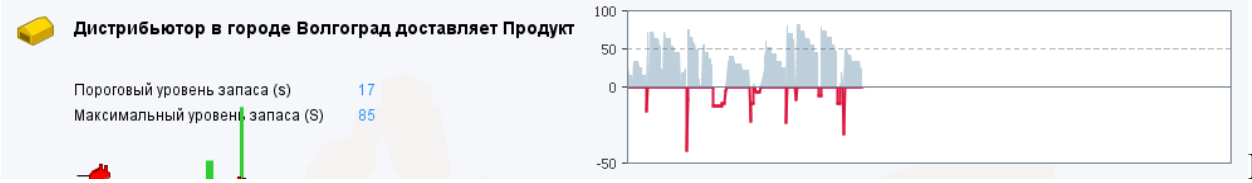
© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

150 дней и приводят к переполнению таможенных терминалов, в связи с чем груз вынужден преодолевать лишние расстояния (из Европынекоторая часть товаров может быть отвезена на Урал для таможенного оформления и после возвращать обратно в Европейскую часть России). При этом достаточно большой объем грузов вынужден идти транзитом через Москву. Так, при доставке товаров из Европы в Санкт-Петербург приходится везти товары на оформление в Смоленск, Москву, Калугу Брянск. Это может свидетельствовать о следующих ситуациях:

- Недостаточное количество таможенных терминалов. При достижении минимального уровня запасов на складах дистрибьюторам приходится заказывать много импортных товаров, и таможенные терминалы не справляются с большими объемами одновременного импорта. Исходя из предпосылки агрегации агентов одного города, можно сделать вывод, что переполнение таможенных терминалов остается возможным вариантом при одновременной нехватке товаров на складах одного города.
- Низкая обеспеченность Краснодара, Волгограда, Челябинска и Красноярскаскладскими помещениями. При большом спросе на товар торговым центрам приходится чаще обращаться к дистрибьюторам, и запасы на местных логистических центрах быстро опустошаются, что может приводить к дефициту товаров (рис. 11).

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Рис. 11.1. Уровень запасов в логистических центрах Краснодара



РРис. 11.2. Уровень запасов в логистических центрах Волгограда

Рис. 11.3. Уровень запасов в логистических центрах Челябинска

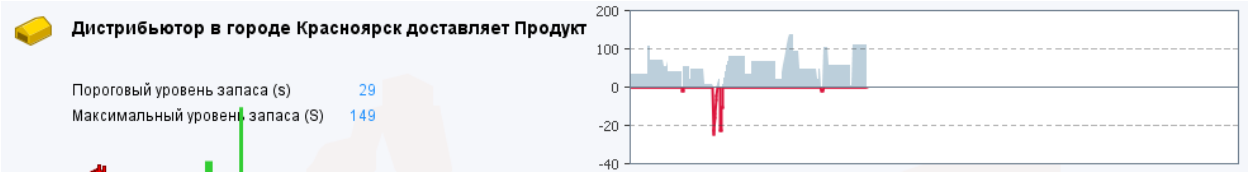


Рис. 11.4. Уровень запасов в логистических центрах Красноярска

На рис. 12 отображена статистика потока товаров по России по нарастающему итогу по видам доставки: от импортеров в таможенные терминалы, из терминалов дистрибьюторам и от дистрибьюторов в торговые центры.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

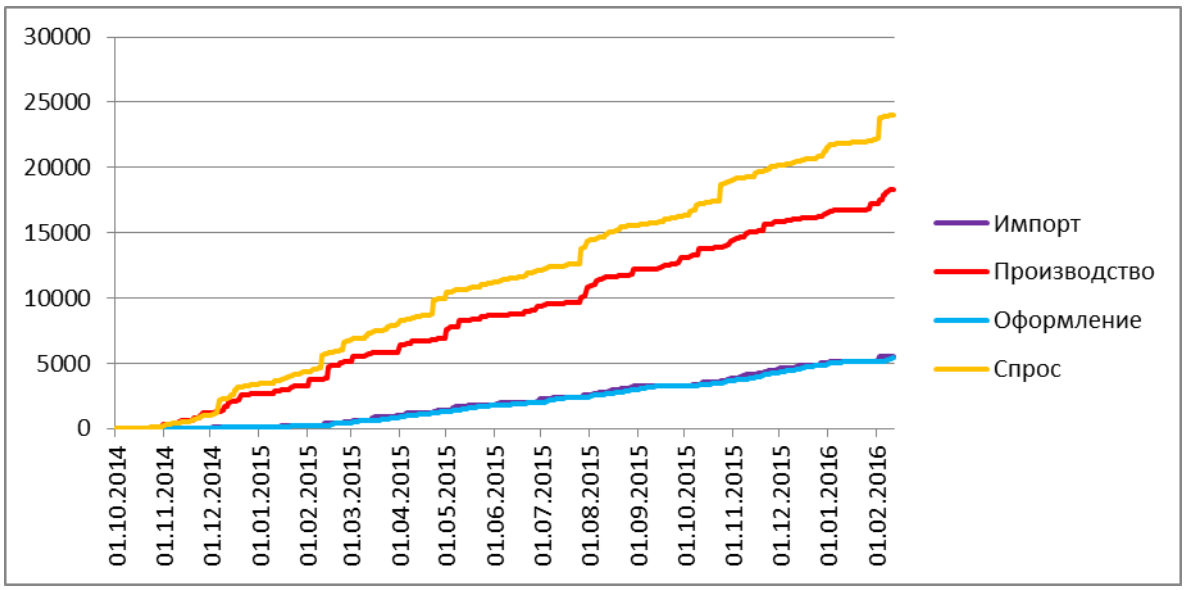


Рис. 12. Потоки товаров по видам отправления

Анализ потоков товаров (рис. 12) показывает, что дистрибьюторы предпочитают сначала закупать отечественные товары, затем только импортные. В первые дни работы модели отечественных товаров оказывается достаточно, но впоследствии спрос на товар начинает превышать предложение отечественных производителей. На рисунке видно, что до 140 дня доля импортных товаров невысока, но со временем, при увеличении нагрузки на отечественных производителей, доля импортных товаров возрастает до 22%.Это связано с тем, что к 140 дню отечественной продукции становится недостаточно для покрытия спроса. Темпы производства оказываются на 20-25% ниже уровня спроса (желтая линия на графике), и дистрибьюторы вынуждены восполнять дефицит за счет импорта.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Сценарный анализ

Проведем сценарный анализ модели с учетом возможных вариантов развития экономической и транспортной ситуации:

1. Снижение импорта из Европы 10-20% [9] и на 30-40% из Украины в связи с санкциями. Европейские экономические санкции и разрыв торговых связей с Украиной уже успели привести к снижению товарооборота между странами на 5-10%. Дальнейшее продолжение санкционной политики может еще сильнее уменьшить импорт из Европы и Украины.
2. Падение темпов строительства складских помещений. В связи с кризисом новое строительство логистических центров будет замораживаться, что может привести к нехватке площадей в других регионах, поскольку новые торговые центры будут продолжать открываться.

Анализ снижения импорта из Европы и Украины показал, что количество импортного товара на рынке практически не изменилось. По сути, дефицит европейских и украинских товаров был возмещен поставками из Китая и Юго-Восточной Азии (рис. 13).

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

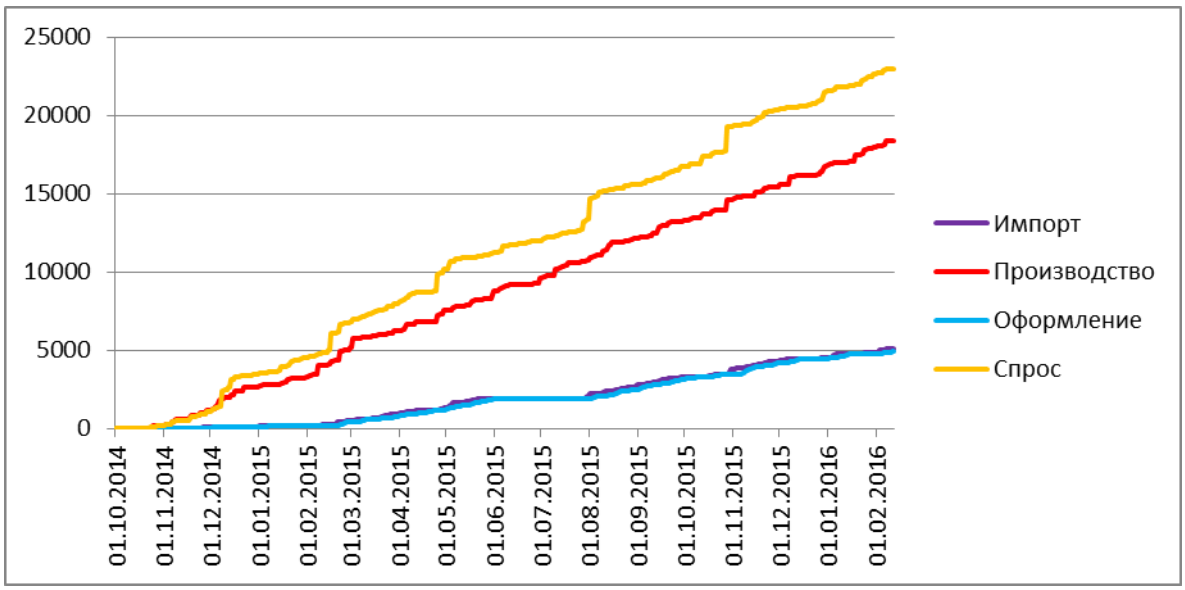


Рис. 13. Товаропотоки в условиях санкций

Однако снижение импорта может привести к возникновению дефицита товаров в Самарской области (рис. 14). Это может быть связано с увеличением времени поставки товара из Азии на Европейскую территорию России, в то время как в других городах складских площадей достаточно для избегания возникновения дефицита.

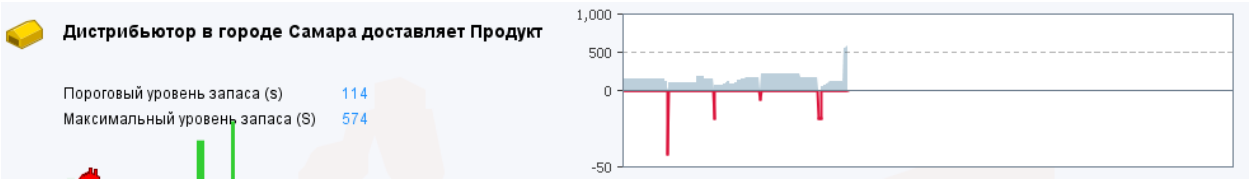


Рис. 14. Уровень запасов в логистических центрах Самары в условиях санкций

В случае с отсутствием ввода новых складских помещений, через некоторое время возникает нехватка площадей во Владивостоке, Воронеже и Перми (рис. 15). Это связано с вводом новых торговых центров и увеличением спроса на оптовые по-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

ставки товаров. Наиболее серьезная нехватка складских площадей может возникнуть во Владивостоке. Это связано с тем, что в 2015 году в городе планируется ввод большого количества торговых центров, что негативно скажется на региональной логистике в условиях отсутствия ввода новых логистических центров.

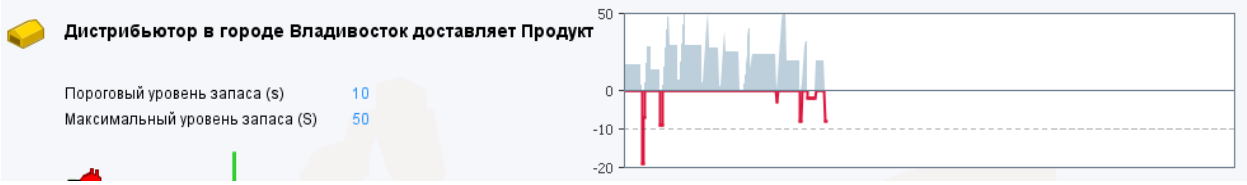


Рис. 15.1. Уровень запасов в логистических центрах Владивостока

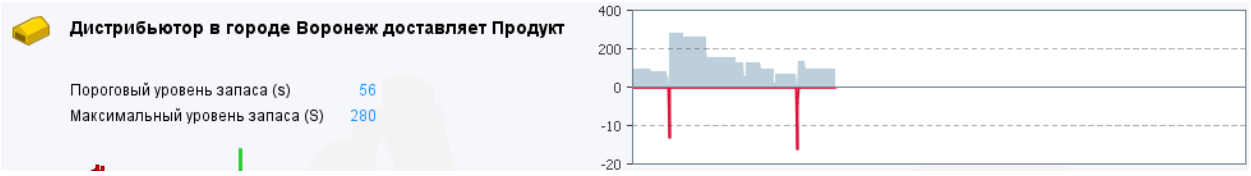


Рис. 15.2. Уровень запасов в логистических центрах Воронежа

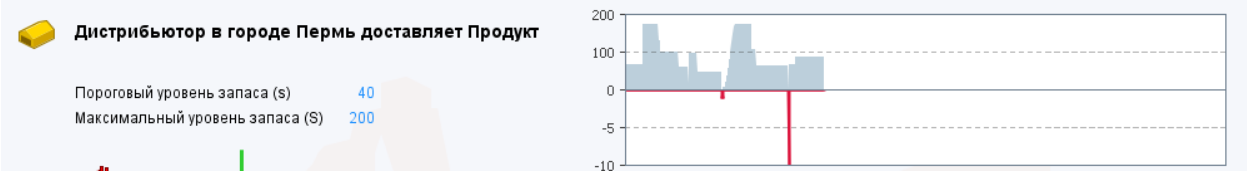


Рис. 15.3. Уровень запасов в логистических центрах Перми

При наличии обоих проблем структура потоков товаров не изменяется, однако возникает дефицит складских площадей в Уфе (рис. 16)

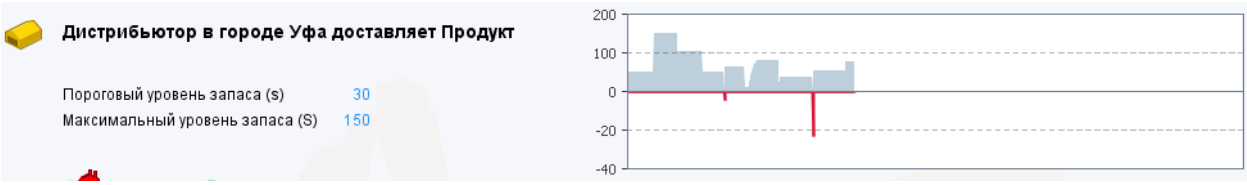


Рис. 16 Уровень запасов в логистических центрах Уфы.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Оптимизация логистической системы РФ

Логистические центры

Поскольку в результате работы модели была обнаружена нехватка складских помещений, необходима оптимизация модели. В качестве целевой функции имеет смысл использовать накопленную сумму дефицита товаров в логистических центрах. Формула накопленной суммы дефицита ко дню *n* выглядит следующим образом:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} deficit_{ij} \qquad (5)$$

где $deficit_{ij}$– дефицит товаров в логистических центрах j-го региона в i-й день. Данная формула позволяет учесть не только объем дефицита, но и время нехватки товара, поскольку дефицит товара в течение 2 дней будет учтен дважды. На рисунке 17 изображен график накопленного дефицита товаров в российских логистических центрах за год.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

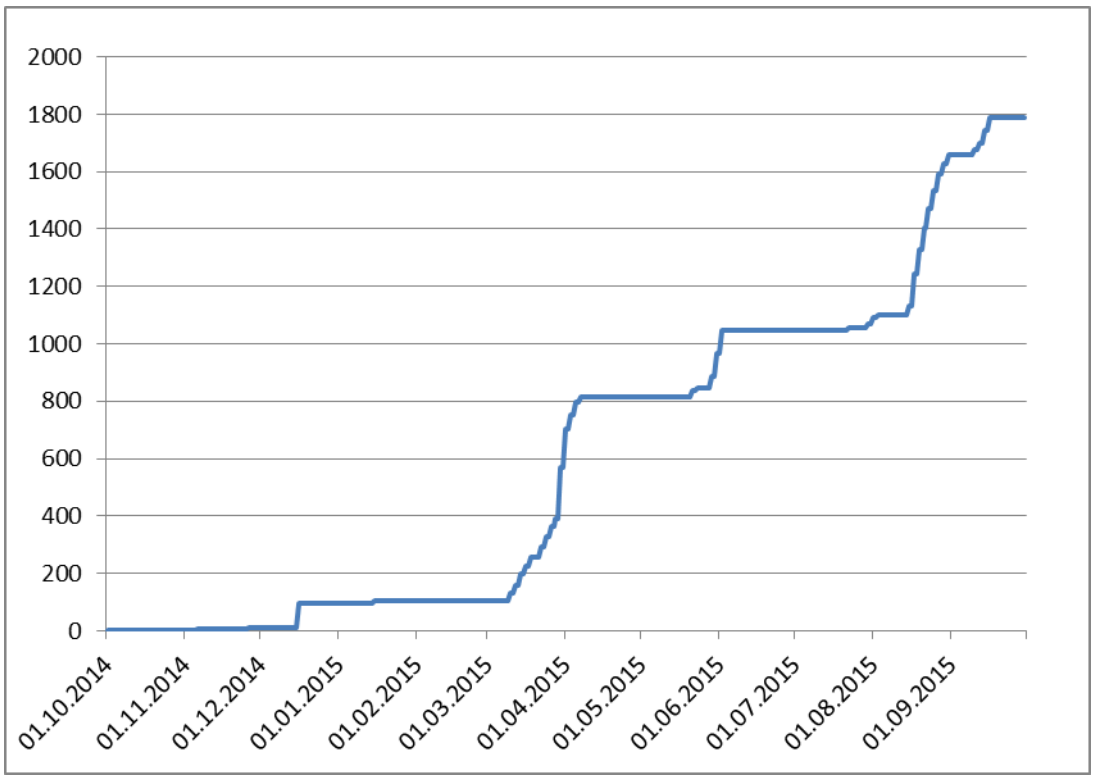


Рис. 17. Накопленная сумма дефицита товаров

Как видно из графика, при сохранении текущих темпов строительства логистических центров к концу 1-го года работы модели суммарный накопленный дефицит составляет около 1800 товародней.

При проведении оптимизации модели данная функция минимизируется.

В качестве параметров оптимизации выбираются складские площади логистических центров в «проблемных» регионах.То есть, оптимизируется площадь логистических центров в регионах с существующим или возможным в случае различных сценариев дефицитом. В результате проведения оптимизационного эксперимента были получены следующие значения складских площадей (см. табл. 1).

Таблица 1. Результаты оптимизационного эксперимента

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Регион	Текущая площадь, тыс. м^2	Оптимальная площадь, тыс. м^2	Необходимо дополнительно, тыс. м^2	Необходимо дополнительно, %
Волгоградская область	35	275	240	686%
Челябинская область	107	430	323	302%
Пермский край	100	390	290	290%
Красноярский край	50	160	110	220%
Приморский край	28	80	52	186%
Воронежская область	143	390	247	173%
Краснодарский край	173	460	287	166%
Самарская область	220	460	240	109%
Башкортостан	76	108	32	42%
В целом по России (кроме Москвы)	5134	6871	1737	34%

При введениив модели оптимальных значений складских площадей с сохранением темпов строительства складов накопленный дефицит сократился практически до нуля, что может говорить о достаточном количестве определенных в ходе оптимизационного эксперимента складских площадей логистических центров России.

Таможенные терминалы

Базовый вариант модели показал нехватку таможенных терминалов для оформления импортных товаров. При доставке товара на оформление фурам приходится преодолевать лишнее расстояние, что увеличивает затраты на транспортировку.

Для оптимизации количества таможенных терминалов используется целевая функция перепробега, описанная на рис. 18 и в формуле (6).

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

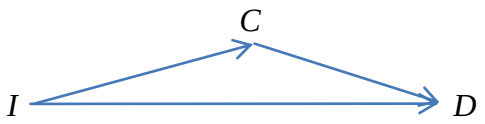


Рис. 18. Граф импорта для расчета функции перепробега

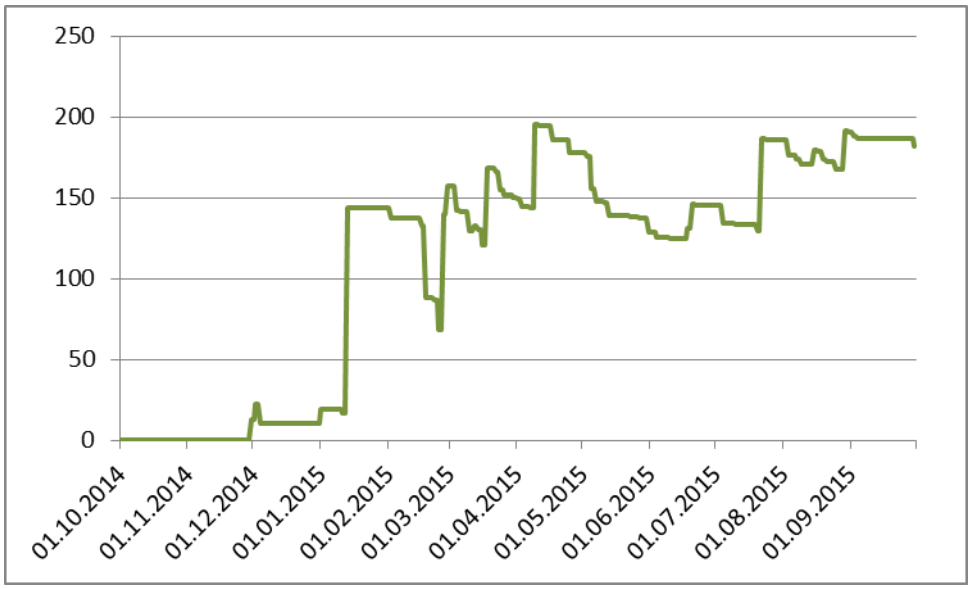
$$\frac{\sum_{i=1}^{import} I_i C_i + C_i D_i - I_i D_i}{import} \quad (6)$$

где I – географическое положение импортера, C – местоположение таможни, D – расположение логистического центра, *import* – импортные товары.

Таким образом, данная формула позволяет просчитать средний излишек расстояния, который вынуждены проходить импортные товары в процессе таможенного оформленияв связи с отдаленностью таможенного терминала от прямого пути между импортером и дистрибьютором.

Перепробег сопряжен с дополнительными транспортными затратами, такими как затраты на бензин, амортизация транспортных средств и другими, поэтому данную функцию необходимо минимизировать.

График функции среднего перепробега показан на рис. 19.



© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Рис. 19. Средний перепробег импортных товаров до оптимизации

На графике видно, что в отдельные моменты времени средний перепробег импортных товаров достигает 200 км.

Стоит заметить, что в случае реализации сценария с санкциями, средний перепробег может увеличиться до 15%. Это связано с тем, что импортные товары приходится везти из Китая через Урал и Сибирь, где таможенных терминалов меньше, чем на Европейской территории России.

В качестве параметров оптимизации взято количество таможенных терминалов в городах с наибольшим товарооборотом: Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Новосибирске, Владивостоке. Чтобы система не могла показать бесконечно большие значения в качестве оптимальных, было задано ограничение количества таможенных терминалов в 200% от существующего.

Результаты оптимизации показаны в таблице 2.

Таблица 2. Результаты оптимизационного эксперимента таможенных терминалов

Регион	Текущее количество таможенных терминалов	Оптимальноеколичество таможенных терминалов
Москва и область	92	128
Ленинградская область	43	60
Свердловская область	5	8
Новосибирская область	5	8
Приморский край	12	16

В результате оптимизации значение среднего перепробега на один импортный товар снизилось на 100 км, практически в 2 раза (рис. 20):

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Рис. 20. Оптимизация перепробега импортных товаров до и после оптимизации

Таким образом, увеличение количества таможенных терминалов в городах с большим товарооборотом на 40% приведет к снижению общего перепробега импортных товаров на 50%. При среднем пути импортных товаров в 2000 км это позволит сэкономить 5% транспортных затрат.

Выводы по главе

В результате разработки модели были получены оптимальные значения площадей логистических центров и количество таможенных терминалов. Для снижения потенциального дефицита складских помещений требуется построить 100-200% от существующих складских площадей в проблемных регионах. Увеличение количест-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

ва таможенных терминалов на 30-40% приведет к снижению перепробега товара на 100 км.

Потенциальными потребителями результатов работы являются операторы логистических центров, занимающиеся поиском регионов для строительства дополнительных складских помещений, а также должностные лица таможенных органов, поскольку увеличение количества таможенных терминалов изменит загрузку существующих таможен и потребует перераспределения должностных лиц.

Заключение

Построенная модель позволила определить проблемы в логистической сети России. Была обнаружена недостаточная пропускная способность таможенных терминалов, а также недостаточный объем складских помещений в периферийных городах. Данные проблемы можно будет решить строительством новых логистических центров в Волгоградской и Челябинской областях, Краснодарском и Красноярском краях, а также вводом новых таможенно-логистических терминалов в данных регионах. В Воронежской области, в Пермском и Приморском краях нехватка складских площадей может наступить при замедлении темпов строительства новых складских помещений. В Самарской области и республике Башкортостан складов может не хватить в случае усиления санкций со стороны Европы или против Европы.

Система логистики также может быть оптимизирована добавлением новых таможен. Строительство в объеме 40% от существующих таможенно-логистических

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

терминалов позволит сократить перепробег на 50% и уменьшить транспортные затраты на 5%.

Отметим, что почти все выявленные с помощью модели проблемные места в логистической системе РФ совпадают с оценками профессионалов в логистической сфере России из компании Knight Frank.

Для более детального обследования ситуации и обнаружения других проблем в логистике следующим этапом развития модели может стать разделение товаров на продовольственные и непродовольственные. Данное разделение поможет выявить, в каких городах существуют проблемы с предложением продовольствия, а в каких ощущается нехватка техники. Также данная модель может быть использована для расчета товарных потоков в случае появления на рынке новых операторов торговых и логистических центров.

Литература

1. Модель Adaptive Supply Chain URL: http://www.runthemodel.com/models/513/
2. Модель Product Delivery URL: http://www.runthemodel.com/models/2109/
3. RunTheModel URL: http://www.runthemodel.com/
4. Гольштейн Е.Г., Юдин Д.Б. (1969) Задачи линейного программирования транспортного типа. М., Наука.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

5. Дунаев О.Н. (2012) Логистика в условиях присоединения России к ВТО // Информационно-аналитический портал Таможня.ру. URL: http://www.tamognia.ru/people/articles/detail.php?ID=1612164
6. Быркова Е. (2014) Статистика внешней торговли в 2013 году: цифры и ключевые показатели. // *Информационно-аналитическое издание «Провэд», 2.6.2014.* URL: http://xn--b1ae2adf4f.xn--p1ai/analytics/research/10888-statistika-vneshney-topgovli-possii-v-2013-godu-tsifpy-i-klyuchevye-pokazateli.html
7. Карта таможенных терминалов http://www.customscard.ru/payment-system/map/
8. Классификация складских помещений. // *KnightFrank.* URL: http://www.knightfrank.ru/resources/pdf/research/ind.pdf
9. http://www.knightfrank.ru/resources/pdf/research/ind.pdf
10. Путин пожаловался на сокращение товарооборота с Европой. *Профиль, 22.12.2014* URL: http://www.profile.ru/rossiya/item/90365-putin-pozhalovalsya-na-sokrashchenie-tovarooborota-s-evropoj

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Приложения

Приложение 1. Исходные данные

Таблица 1. Данные по городам

		население	прирост	торговые центры	строятся	склады
1	Москва	12108	1,010684474	5265699	4148024	7316000
2	Санкт-Петербург	5131	1,020485282	2480000	355000	2123000
3	Новосибирск	1547	1,015091864	362400	148000	600000
4	Екатеринбург	1412	1,011461318	705652	688300	605000
5	Нижний Новго-род	1263	1,003177125	484710	203150	292000
6	Казань	1190	1,011904762	528800	187000	320000
7	Самара	1172	1,000853971	841437	409000	220000
8	Челябинск	1169	1,011245675	398000	524000	107000
9	Омск	1166	1,004306632	337390	243000	0
10	Ростов-На-Дону	1109	1,004528986	436240	113200	210000
11	Уфа	1096	1,016697588	286440	120900	76000
12	Красноярск	1035	1,018700787	218700	163500	50000
13	Пермь	1026	1,01183432	162000	530000	100000
14	Волгоград	1017	0,998037291	374340	120200	35000
15	Воронеж	1014	1,009960159	383238	396800	143000
16	Саратов	840	1,001191895	172318	253744	0
17	Краснодар	805	1,026785714	1075300	288500	173500
18	Тольятти	718	0,998609179	0	0	0
19	Тюмень	679	1,070977918	452362	127694	0
20	Ижевск	637	1,006319115	258894	57900	0
21	Барнаул	633	1,004761905	102600	133480	0
22	Ульяновск	616	1,001626016	106654	25183	0
23	Иркутск	612	1,00990099	143658	259830	0
24	Владивосток	603	1,005	72000	240000	80000
25	Ярославль	602	1,005008347	292850	0	0
26	Хабаровск	601	1,011784512	125250	72000	0
27	Махачкала	578	1,003472222	0	0	0
28	Оренбург	560	1,007194245	253194	82660	0
29	Томск	557	1,016423358	97000	0	0
30	Новокузнецк	550	1,001821494	101500	107000	0
31	Кемерово	544	1,007407407	101500	107000	0
32	Рязань	530	1,003787879	242000	58000	0
33	Астрахань	530	1,0056926	45700	0	0
34	Набережные Челны	522	1,005780347	0	0	0

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

35	Пенза	521	1,001923077	88000	41000	0
36	Липецк	509	1	77000	314000	0

Таблица 2. Промышленное производство на территории ЕАЭС по регионам

	Объем продукции промышленности, млн руб.
Калуга	24 468,5
Санкт-Петербург	2460256
Калининград	53658,5
Липецк	157220
Тюмень	1103888
Омск	621060
Вологда	143717
Москва	5319013
Пермь	783008
Екатеринбург	1257113
Нижний Новго-род	958352
Казань	1057850
Белгород	119455
Челябинск	902273
Самара	780879
Тула	366469
Уфа	957695
Красноярск	644358
Архангельск	79943,5
Новгород	44579,5
Астана	315350
Минск	474425

Таблица 3. Импорт из стран ближнего и дальнего зарубежья (за исключением ЕАЭС)

	импорт
Китай	1862385
Азия	835695
Европа	2788100
Турция	253960
Украина	44054,5

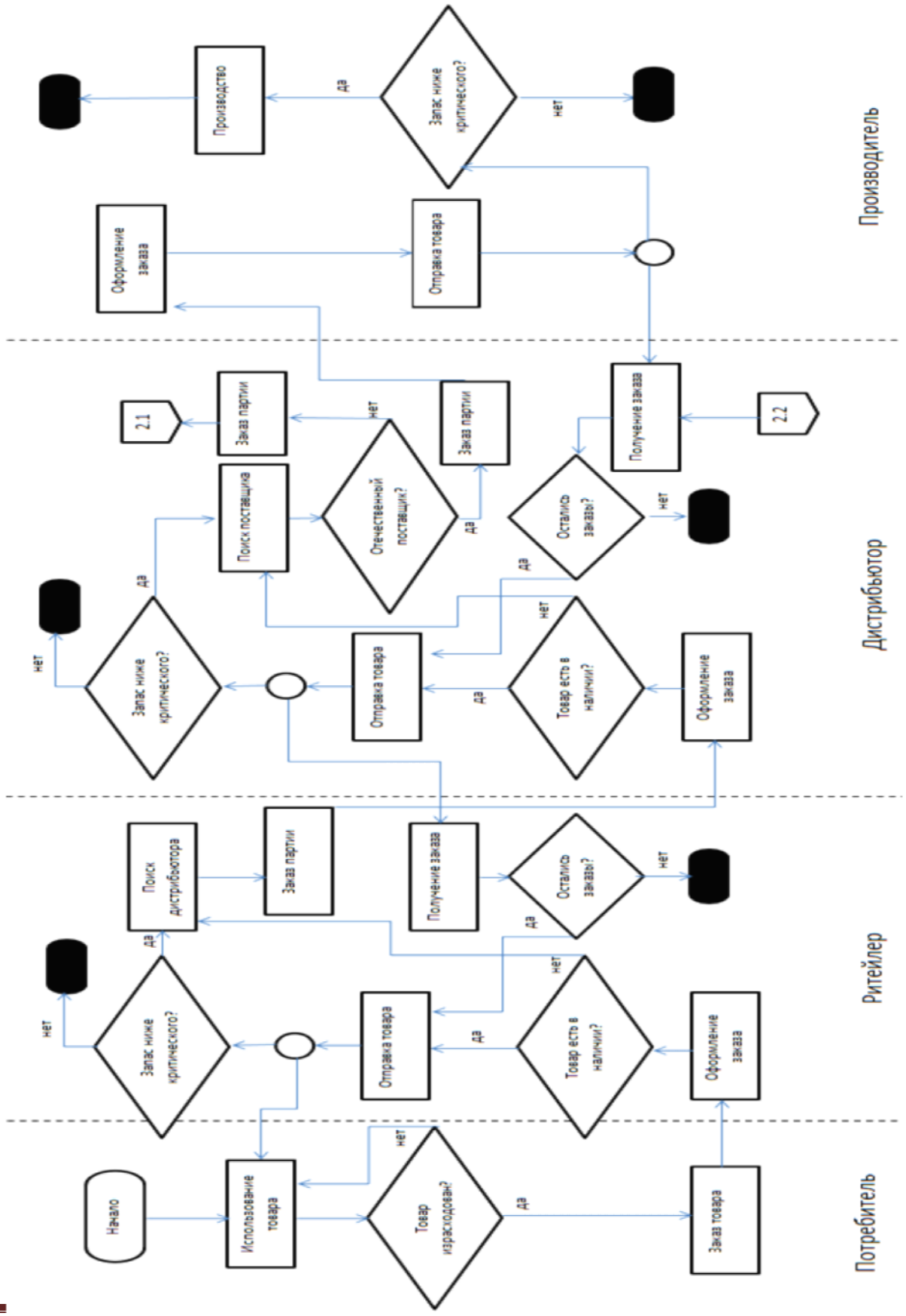
© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Таблица 4. Количество таможенных терминалов

город	таможенные терминалы
Москва	128
Санкт-Петербург	60
Смоленск	12
Тамань	14
Владивосток	16
Новосибирск	8
Хабаровск	6
Воронеж	3
Псков	5
Челябинск	2
Омск	2
Калуга	6
Брянск	5
Казань	2
Нижний Нов-город	3
Волгоград	4
Ульяновск	5
Екатеринбург	8

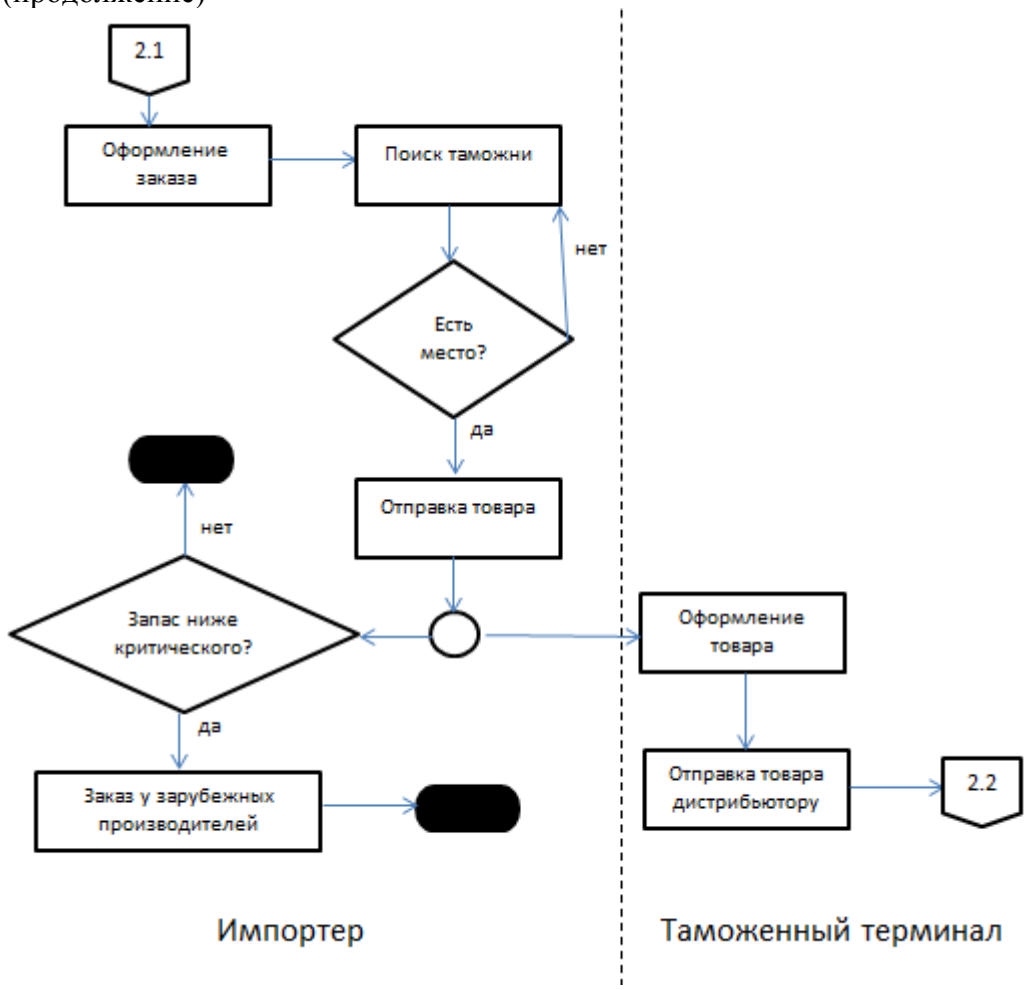
© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Приложение 2. Блок-схема имитационной модели



© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

(продолжение)



© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Концепция и тест на квазиразумность виртуального персонажа

© Гришин Е.А.(Москва)

К настоящему времени нами разработана первая версия комплекса программ, в той или иной степени реализующая концепцию квазиразумности виртуального персонажа в рамках направления, развиваемого как мультиагентные системы [7], [8], [9].

Виртуальный персонаж представляет собой искусственно созданное существо, являющееся элементом некоего виртуального мира. В этом мире существует множество других персонажей, взаимодействующих между собой, вступающих в сотрудничество или конфликты. Через подобное взаимодействие проявляется «социальная» составляющая их существования.

В то же время каждый персонаж обладает неким внутренним миром, или «психикой». В ней отражается внешний виртуальный мир и его собственная активность в мире на основе имеющихся у персонажа «ценностных установок» и «потребностей».

В зависимости от того, как в течение своей «жизни» персонаж разрешает конфликт между удовлетворением его «потребностей» и «ценностными установками», он испытывает разное «настроение». «Настроение» существенно влияет на «сознательный» выбор «деятельности» персонажа как способа его проявле-

ния в «обществе». Среднее «настроение» за конкретный период может объективно оцениваться как «качество жизни» персонажа.

В первой версии виртуальный мир был «физически» населен одним персонажем. При этом осуществлялось его полноценное существование и взаимодействие с другими персонажами, проявления которых в данном случае функционально имитировались посредством генераторов случайных чисел, о чем персонаж и не подозревал.

На первой версии отрабатывались все основные программно-технические решения реализации концепции квазиразумности виртуального персонажа.

В последующих версиях количество «физически» существующих в виртуальном мире персонажей будет определяться выбранной моделью представления виртуального «общества» и спросом на взаимодействие пользователей-людей с виртуальными персонажами.

2. Концепция виртуального мира с квазиразумными персонажами имеет различные направления своей практической реализации.

Одним из направлений может быть разработка компьютерной программы, выступающей для игрока в роли помощника, собеседника, учителя, тренера, друга,

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

делового партнера, как основы создания принципиально нового вида компьютерных игр.

Вариантом подобной новой игры (или «виртуальной» жизни) может быть виртуальный мир, полученный в результате погружения сообщества «квазиразумных» персонажей в среду существующих социальных 3D-сетей типа Second Life [5, 6], с множеством уже существующих там «аватаров» – полностью управляемых игроками виртуальных существ.

Организация сообщества «квазиразумных» персонажей в сетях типа SL может быть попыткой подтвердить или опровергнуть следующий тезис: соблюдение морально-этических норм во взаимоотношениях участников (игроков-аватаров и виртуальных «квазиразумных» агентов) способствует выживанию виртуального сообщества и росту качества жизни всего сообщества как производной от их материального и морального состояния.

Роль человека в таких играх двоякая.

Как «творец-конструктор» виртуального сообщества, человек проявляется в период до момента «оживления» персонажа–агента. В этом периоде он задаёт для каждого будущего конкретного агента параметры «характера» и «ценностных установок», выбранные из множества сочетаний вариантов. Тем самым конст-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

руктор может моделировать варианты структуры сообщества агентов, в диапазоне от филантропии до мизантропии.

Как игрок-аватар, человек проявляется в период после момента «оживления» персонажа–агента. Здесь, в процессе периодического общения с уже «живущими» самостоятельными *агентами,* он пытается понять их текущие интересы и основополагающие ценности, а также сообщить им о собственных интересах и ценностях.

Задача общения – оба партнёра, человек и агент, каждый должны выбрать для себя ту или иную роль в общем согласованном сценарии предстоящей деятельности, договориться о взаимных условиях исполнения ролей и согласовать планы своих действий. Далее, сеанс общения прекращается, наступает период исполнения ролей, заканчивающийся или взаимным исполнением планов действий, или срывом планов, и новым сеансом переговоров. Партнёры взаимодействуют, проявляясь каждый в своей избранной форме взаимоотношений - сотрудничества или конфликта.

Для игрока целями подобных игр могут быть следующие.

- Испытание и обучение самого себя как эффективного *деятеля* в качестве партнёра по взаимодействию и общению с «квазиживыми» и «квазиразумными» существами, в рамках достижения собственных целей по конкретным сделкам.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

- Испытание самого себя как *объекта* воздействия со стороны партнёра–агента, когда игрок, реализуя разные варианты своего кредо в виртуальном мире, воспринимает и оценивает отношение к нему других персонажей, достигающих свои цели и исповедующих иные ценности. В результате он выясняет для себя приемлемые и неприемлемые стороны своей личности и личности партнёров, возможно, до этого ему неочевидные, и может быть, начнёт изменять себя с целью нахождения оптимума.
- Выяснение целесообразности затрат своего времени и денег на общение и сделки с *персонажами-агентами* по сравнению с затратами на общение и сделки с *игроками-аватарами*, и выработка предпочтений одного вида объекта взаимодействия перед другим.

3. Концепция диалога персонажа-агента с игроком реализуется как исполнение персонажем следующего перечня требований, которым он должен удовлетворять в процессе взаимодействия с игроком:

- Дружеское расположение персонажа к новому игроку-партнёру, запоминание его имени, времени обращения, предложение игроку вариантов развития диалога и следование выбранному игроком варианту.
- Восстановление персонажем истории диалогов с обратившимся уже известным ему игроком, проявление его отношения к игроку и учет интересов игрока на основе истории в начале каждого диалога.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

- Определение персонажем своих целей диалога, согласование с игроком общих целей диалога и планирование затрат ресурсов на достижение каждой цели в начале текущего диалога. «Осознание» персонажем того, что:

первым результатом диалога должно быть достижение ПОНИМАНИЯ ПЕРСОНАЖЕМ сути позиции игрока,

вторым результатом диалога должно быть подтверждение ПОНИМАНИЯ ИГРОКОМ сути позиции персонажа,

третьим результатом диалога должно быть сохранение ЖЕЛАНИЯ обоими участниками продолжить диалог в будущем.

- Ведение персонажем «протокола» в процессе диалога как фактического течения диалога.

- Контроль выполнения персонажем своих целей и затрат ресурсов в процессе диалога на основе соотнесения своего плана и фактического протокола.

- Целеустремленное диалоговое поведение персонажа: попытки персонажа как инициатора диалога побыстрее добиться согласия игрока со своими позициями, а также побыстрей понять смысл диалога для игрока как инициатора диалога.

- Анализ персонажем причин расхождения плана и факта в процессе диалога, в том числе:

Фиксация персонажем повторов и логических циклов в диалоге, в смысле: «мы об этом уже говорили» или «у нас получается «сказка про белого бычка».

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Контроль персонажем паритетности распределения временных и других ресурсов диалога, затрачиваемого каждым участником на свое выступление.

Рефлексия персонажем изменяющегося предмета интереса игрока в данном диалоге и стремление учесть этот интерес.

Рефлексия персонажем степени понимания существа диалога игроком и предложение персонажа еще раз уточнить тему диалога в случае, если ему кажется, что игрок его недопонимает.

Рефлексия персонажем снижения интереса или внимания игрока к диалогу и поиск причин этого персонажем в себе.

Прекращение текущего диалога ввиду очевидной неэффективности его для персонажа с объяснением игроку причин этого шага и вариантов устранения причин.

- Анализ персонажем причин расхождения плана и факта по завершении диалога, в том числе:

Анализ собственных причин и причин игрока, определивших неэффективность или срыв диалога,

Устранение собственных причин и явное указание на них перед началом следующего диалога как на результат своей недоработки.

Обращение внимания игрока перед началом следующего диалога на его причины неэффективности или срыва предыдущего диалога.

Анализ действий Партнера, определивших эффективность предыдущего диалога и высказывание о них перед началом следующего диалога как о его заслуге.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

4. Существенным этапом создания виртуального мира является проверка степени «квазиразумности» виртуального персонажа.

При всем многообразии методик испытания на способность машины мыслить [8], [9], [10] на данный момент автор затрудняется назвать общепризнанные адекватные формальные методы подобной проверки.

Сделаем попытку ввести собственное представление некоторого теста на «квазиразумность» виртуального персонажа:

Виртуальный персонаж может считаться *квазиразумным*, если он, периодически общаясь с человеком на взаимопонятном языке, окажется способным многократно заключить с ним и исполнить в течение заданного времени *экономические договоры* (*сделки*) по обмену ресурсами на основе взаимной *рациональности* и *этичности*.

При этом:

- **взаимная *рациональность* есть условия договора, учитывающие интерес каждого партнёра по срокам, цене и виду поставляемого товара (услуги),**
- **взаимная *этичность* есть ответственность за неисполнение условий договора каждым партнёром (ресурсная страховка риска).**

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

5. Возможность виртуального персонажа входить в экономические взаимоотношения с человеком или другим персонажем должна обеспечиваться наличием у виртуального персонажа следующих пяти основных качеств**:**

1. персонаж должен обладать свойствами **ЖИВОГО**.
2. персонаж должен обладать **РЕФЛЕКСИЕЙ**.
3. персонаж должен **ОБУЧАТЬСЯ** и **САМООБУЧАТЬСЯ**.
4. персонаж должен обладать стремлением и способностью к **ИГРЕ**.
5. персонаж должен **САМОРАЗВИВАТЬСЯ.**

Эти качества расшифровываются следующим образом:

1. Персонаж должен обладать свойствами **живого**, т. е.:

- обладать **«телом»** - материальной или/и информационно-программной структурой, включающей функциональные органы, с помощью которых персонаж осуществляет поведение в среде себе подобных (в т.ч. изменение своего собственного состояния, а также обнаружение, различение и взаимодействие персонажей друг с другом):

- **эффекторы** - органы воздействия на среду (передачи сообщений),
- **рецепторы** – органы восприятия и распознавания изменений объектов среды и собственного состояния персонажа в ней (приема сообщений),
- **орган управления поведением**.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

- иметь, пополнять (сохранять) и обменивать **ресурсы** (материальные предметы, энергию, деньги, принадлежащие персонажу как **собственность**, а также время жизни), при расходовании которых только и возможно осуществление поведения (деятельности) в среде и взаимодействия с партнёрами,
- обладать материальным или/и информационно-программным **идентификатором - лицом**, с помощью которого персонаж информационно представлен в среде. Идентификатор позволяет персонажам различать друг друга.
- иметь **потребности** как фундаментальное основание и регулятор собственной активности и удовлетворять их в своем физическом поведении в среде и во взаимоотношениях с себе подобными и людьми,
- осуществлять в рамках поведения разные виды **деятельности,** каждая из которых с разной интенсивностью удовлетворяет разные потребности, требуя для своего исполнения затрат ресурсов,
- иметь **память**, позволяющую ему помнить каждого партнёра, историю их взаимодействия (сделок) и формировать баланс их отношений,
- **проявлять собственные интересы** перед другими персонажами и **стремиться к безопасности** собственного существования, в т.ч.:

- пополнять жизненные ресурсы в результате взаимовыгодных сделок с партнёрами,
- сохранять собственные ресурсы в условиях угрозы,
- конкурировать с партнёрами за обладание новыми ресурсами,

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

- **обучаться** рациональному (целесообразному с точки зрения удовлетворения собственных потребностей) поведению на собственных примерах и примерах других персонажей и **обучать** других персонажей.

2. Персонаж должен обладать **рефлексией**, т. е. способностью воспринимать проявления среды одновременно как *стимул* для реализации своего алгоритма непосредственного поведения в среде, и как *информацию* для выполнения алгоритма собственных «умственных» действий в связи с осознанием прошлого среды как проблемы. Эти «умственные» действия персонажа есть исполнение функции «принятия решения» на каждом из этапов, от восприятия новой проблемы до разработки нового плана поведения. Информация поступает от партнёров в результате общения с ними, осуществляемого персонажем *параллельно* с «умственными» действиями по ранее разработанному плану поведения [1, 2, 3]. Таким образом, персонаж должен:

- **принимать решения на каждом из этапов**, в том числе:

- формулировать прогноз развития ситуации на основе сообщений и в связи с ожиданием опасности или ожиданием помощи для персонажа,

- формулировать проблему при появлении неожиданной опасности или помощи и расценивать ее как следствие невыполнения (отсутствия) собственного плана из-за ошибки или непредусмотрительности,

- оценивать масштаб проблемы, выделяя соответствующий объем собственных ресурсов, требуемых как затраты для устранения причины проблемы,

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

- формулировать цель как проект совместной деятельности персонажей (договор) для устранения причины общей проблемы,
- выбирать исполнителей ролей сценария проекта, заключать с ними договоры-сделки, в т.ч., согласовывать цели и планы достижения целей каждого из исполнителей ролей,
- контролировать исполнение всех планов, переформулировать проблемы, ставить новые цели и согласовывать новые планы при невыполнении конкретной позиции любого текущего плана,

• **управлять собственным настроением как интегральным показателем качества жизни, и влиять на настроение другого,** в том числе:

- оценивать текущее настроение, определять причины его изменений как неудовлетворение конкретных потребностей,
- концентрировать внимание на той деятельности, которая может удовлетворить наиболее актуальную потребность и повысить настроение в кратковременной перспективе,
- анализировать качество жизни как среднее настроение за период и изменять приоритеты на множестве потребностей с целью повышения качества жизни в долговременной перспективе,
- соответственно выбору, сделанному в предыдущих пунктах, перераспределять ресурсы между видами деятельности,

• **общаться** с игроками-людьми и персонажами-партнерами, в т.ч.:

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

- **передавать и получать сообщения** с требуемой информацией для вовлечения персонажей-партнеров в организуемые им проекты совместной деятельности, для собственного участия в проектах других персонажей, а также в процессе сотрудничества и помощи персонажам-друзьям и в процессе борьбы с персонажами-конкурентами в рамках норм и правил, определяемых его личностью,
- **задавать** вопросы (себе или другому) и **отвечать** на вопросы (себе или другому) о себе и о других персонажах, в т.ч. о следующем:
- каково имя и социальные роли персонажа,
- какой текущей деятельностью занят и какую проблему разрешает персонаж в данный момент,
- каковы потребности, предпочтения и настроение персонажа,
- каких персонажей и игроков он считает своими друзьями (партнёрами), и каких – врагами, и почему,
- как формулируются его текущие проблемы в разных видах деятельности, в чем заключаются текущие цели, каковы разрабатываемые и исполняемые планы,
- как формулируется его компромисс между *этикой (*нравственностью*)*, и *рациональностью (*выгодой*)* в его взаимоотношениях с другими персонажами,

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

- какова степень желания одного персонажа иметь дело с другим персонажем. Это может быть следствием наличия информации о другом персонаже, выражаемой конкретным значением вероятности в следующих шкалах:
- партнер (помощь ресурсам) - противник (угроза ресурсам),
- надежный партнер (хорошая кредитная история) - ненадежный партнер (отсутствует или плохая кредитная история),
- временный противник - постоянный конкурент (враг),
- богат (много ресурсов) - беден (мало ресурсов),
- альтруист - мизантроп,
- информирован (много знает) - не информирован (мало знает),
- способен к обучению - неспособен к обучению.

3. Персонаж должен уметь **ОБУЧАТЬСЯ** сам на собственных и чужих ошибках поведения и **ОБУЧАТЬ** других персонажей, в т.ч.:

- персонаж должен уметь запоминать и рефлексивно анализировать статистику своих проблем, расценивать их как следствие собственных ошибок или непредусмотрительности в его планах или как отсутствие планов поведения, и соответственно корректировать свои планы;
- персонаж должен уметь рефлексивно воспринимать сообщения с обучающей информацией от других персонажей и использовать ее в поведении, а также передавать сообщения с обучающей информацией другим персонажам. В общем случае, любое получаемое сообщение содержит обучающую инфор-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

мацию, если она является ответом на вопрос, как снизить необходимость персонажу тратить ресурсы на приобретение опыта самому).

4. Персонаж должен обладать стремлением и способностью к **ИГРЕ,** в т.ч.:

- персонаж должен различать свои состояния игры и «настоящей» жизни;
- персонаж должен рефлексивно оценивать свою возможность вхождения в игру и необходимость выхода из игры, а также делать соответствующие предложения партнеру или отвечать на предложения партнера;
- персонаж должен обладать потребностью отдавать «долг чести», т.е. оплачивать игровой проигрыш.

5. Персонаж должен **САМОРАЗВИВАТЬСЯ,** удовлетворяя свою метапотребность в самоуважении как основу поддержания собственного настроения, что достигается:

- «сознательным» (волевым) изменением приоритетов на множестве потребностей, изначально заложенных в него конструктором,
- перераспределением ресурсов в пользу тех видов деятельности, которые направлены на удовлетворение ставших приоритетными потребностей, за счет снижения объема ресурсов для других видов деятельности,
- победой над собой во внутреннем конфликте потребностей, т.е. фактическим исполнением деятельностей для удовлетворения потребностей, назна-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

ченных волевым способом приоритетными, за счёт неудовлетворения актуальных потребностей. В противном случае, при отказе персонажа от ранее принятых им решений под воздействием текущих потребностей, этот факт должен им расцениваться как поражение себя в борьбе с собой и приводить к соответствующей потере самоуважения, а значит, и настроения.

Вышеизложенная концепция создания виртуального мира автономных квазиразумных персонажей разработана автором к 2003 г. самостоятельно [1, 2, 3], без кооперации с разработчиками известных систем Virtual World, в т.ч. Second Life [4, 5, 6], и без учёта их идей.

Однако сегодня представляется естественным и целесообразным рассмотреть её в сочетании с концепцией, подобной Second Life [5, 6]. В данном смысле SL могла бы являть собой платформу и мощную инфраструктуру, позволяющую относительно легко дополнить имеющийся в ней мир аватаров (как представителей игроков) миром виртуальных «квазиживых» и «квазиразумных» агентов, могущих самостоятельно взаимодействовать с аватарами и между собой.

Перспективы подобного симбиоза представляются эвристически эффективными с точки зрения анализа эволюции квазиразумности агентов, и плодотворными с точки зрения развития идей создателей Second Life (развития виртуальных

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

форм общения, взаимодействия, познания самих себя и роста качества жизни игроков).

Литература:

1. Гришин Е.А. (2008) Об интеллекте: просто о сложном (Реплики на выдержки из книги Д. Хокинса и С. Блейксли «Об интеллекте»). Журнал РАН «Искусственный интеллект и принятие решений», вып. 4, 2008). *http://aidt.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=157*

2. Гришин Е.А. (2010) «Целое», «живое», «сознающее»: попытка моделирования. Материалы сетевой конференции Информационно-вычислительные технологии в науке ['ИВТН-2010]. *http://www.ivtn.ru/2010/*

3. Гришин Е.А. (2010) Рефлексивная машина: модель параллельных процессов «осознания» и поведения персонажа виртуального мира. Материалы сетевой конференции Информационно-вычислительные технологии в науке ['ИВТН-2010]. *http://www.ivtn.ru/2010/*

4. Ben Goertzel. (2007) Artificial General Intelligence: Now Is the Time. 9. *http://www.kurzweilai.net/artificial-general-intelligence-now-is-the-time*

5. ИИ в теле животного будет обучаться в виртуальном мире. *http://habrahabr.ru/blogs/cyberpunk/14097/*

6. Леско Марина. (2008) Империя чувств. Журнал Профиль. №23(578) от 16.06.2008 *http://www.profile.ru/items/?item=26390#comment*

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

7. Тарасов В.Б. (2002) От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС– 352 с.

8. Тарасов В.Б. (2001) Синергетические проблемы в искусственном интеллекте//Труды Международной научно-практической конференции «Знание – диалог – решение». Т.2 (KDS-2001, Санкт-Петербург, 19-22 июня 2001 г.). – СПб: Лань.– С.594-602.

9. Тарасов В.Б. (1998) Агенты, многоагентные системы, виртуальные сообщества: стратегическое направление в информатике и искусственном интеллекте// Новости искусственного интеллекта.– №2. – С.5-63.

10. А.Тьюринг. (1960) Может ли машина мыслить? (С приложением статьи Дж. фон Неймана Общая и логическая теория автоматов". Пер. и примечания Ю.В. Данилова). М.: ГИФМЛ.

11. Патнем Х. (2002) Разум, истина и история. - М.,

12. Долмачев И. Могут ли машины мыслить?

http://archive.1september.ru/inf/2000/2/art/alan1.htm

13. Чекалов Д. Размышления во время перезагрузки.

http://www.comprice.ru/material/2001-46.phtml

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Агент-ориентированное моделирование движения рабочей силы моногорода

© Рамазанов Р.Р. (Уфа)

Депрессивным регионам и моногородам, с низкой промышленной диверсификацией и практически тотальной социально-экономической зависимостью от отдельных производств, свойственна низкая инвестиционная и социальная привлекательность. Моногород представляет собой населенный пункт, состояние социально-экономической среды которого напрямую зависит от функционирования какого-то одного предприятия расположенного на его территории. Предприятия такого рода принято называть градообразующими, и они, как правило, помимо прямых производственных издержек вынуждены нести еще некоторые социальные издержки, связанные с поддержкой городской инфраструктуры, что в значительной степени увеличивает себестоимость их продукции, делая ее неконкурентоспособной [1].

В долгосрочной перспективе (при отсутствии государственной поддержки) такие территориальные образования ждет постепенная социально-экономическая деградация. Проигрывая конкурентную борьбу, моногорода будут систематически терять население трудоспособного возраста, и оставаться непривлекательными для мигрантов.

Сценарий, при котором происходит закрытие градообразующего предприятия с резким высвобождением невостребованной рабочей силы, грозит скач-

ком роста эмиграционной активности, уходом значительной части трудоспособного населения в теневой сектор, а также сокращением среднего уровня заработной платы, и, соответственно, падением покупательской способности всего населения. Острота возникающих социально-экономических проблем при данном развитии событий, во многом зависит от таких характеристик моногорода, как образовательный уровень, численность и половозрастной состав населения, уровень безработицы, удаленность от крупных торгово-промышленных центров и др.

Решение о миграции, переходе на вахтовой метод работы, или смене вида деятельности при сохранении постоянного места пребывания, каждый отдельный агент принимает самостоятельно, основываясь на некоторых особенностях своего социально-экономического положения, которые выражаются в следующих характеристиках:

– общие: пол, возраст; уровень образования, уровень активности; семейные связи (супруг, родители, дети), наличие родственников в соседних регионах;

– работа: вид деятельности, трудовой стаж, специальность;

– трудовой потенциал – является функцией от уровня образования, стажа работы и активности;

– мотивация: агенты-люди стремятся к увеличению заработка, в том случае, если их не удовлетворяет материальное положение своей семьи.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Также значительное влияние на поведение индивидов оказывает социально-экономическая среда обитания, которую определяют следующие характеристики:

– экономика: наличие крупных предприятий; степень производственной диверсификации; объем рынка сферы услуг и розничной торговли;

– демография: распределение населения по полу, возрасту, месту жительства; средний размер семьи; коэффициенты рождаемости и смертности;

– рынок труда: уровень безработицы; средняя заработная плата; распределение экономически активного населения по уровню образования; средняя заработная плата и ее дифференциация в зависимости от уровня образования по видам деятельности;

– домохозяйства: состав семьи; наличие приусадебного хозяйства, совокупный и среднедушевой доход;

– социокультурная среда: образовательные и медицинские учреждения.

Таким образом, динамика всей социально-экономической системы региона или города будет определяться поведением каждого отдельного его жителя. Решить проблему моделирования многообразия возможных вариантов поведения отдельных индивидов, драйверами которых выступают их собственные индивидуальные мотивы, может агент-ориентированный подход.

Исследуем миграционную активность населения моногорода с помощью агент-ориентированной модели, имитирующей движение рабочей силы города в связи с частичным или полным сокращением работников, занятых на градо-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

образующем предприятии. Агент-ориентированное моделирование показало свою эффективность в решении пространственных задач [2, 3, 4], а также задач, связанных с рабочей силой [5, 6].

Предлагаемая модель состоит из агентов, количество которых задается экзогенно. Агенты представляют жителей условного моногорода, каждый из которых получает некоторый доход, связанный с одним из трех возможных источников: монопредприятие, бюджет и прочие источники. К категории «прочие источники» относятся сферы торговли, услуг и теневая экономика. Доходы бюджетников и горожан, занятых на монопредприятии задаются экзогенно, и, исходя из них, вычисляются доходы индивидов прочих сфер занятости по следующей формуле:

$$P_t = \frac{n_f \cdot P_f + n_b \cdot P_b}{n} \qquad (1)$$

где n_f и n_b – количество индивидов, чьи доходы зависят от деятельности монопредприятия и от бюджетных выплат соответственно; P_b и P_f – средний уровень доходов работников бюджетной сферы и работников градообразующего предприятия.

Помимо такой характеристики как реальная заработная плата, каждый агент обладает еще и атрибутом желаемой заработной платы, который исчисляется по формуле:

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

$$Pa_i = p_m \cdot b_i \qquad (2)$$

где p_m – экзогенно задаваемая величина уровня прожиточного минимума, b_i – индивидуальный коэффициент амбиций, генерируемый в заданных пределах ($1<b_i<10$).

Интерфейс модели с исходными установками представлен на рисунке 1.

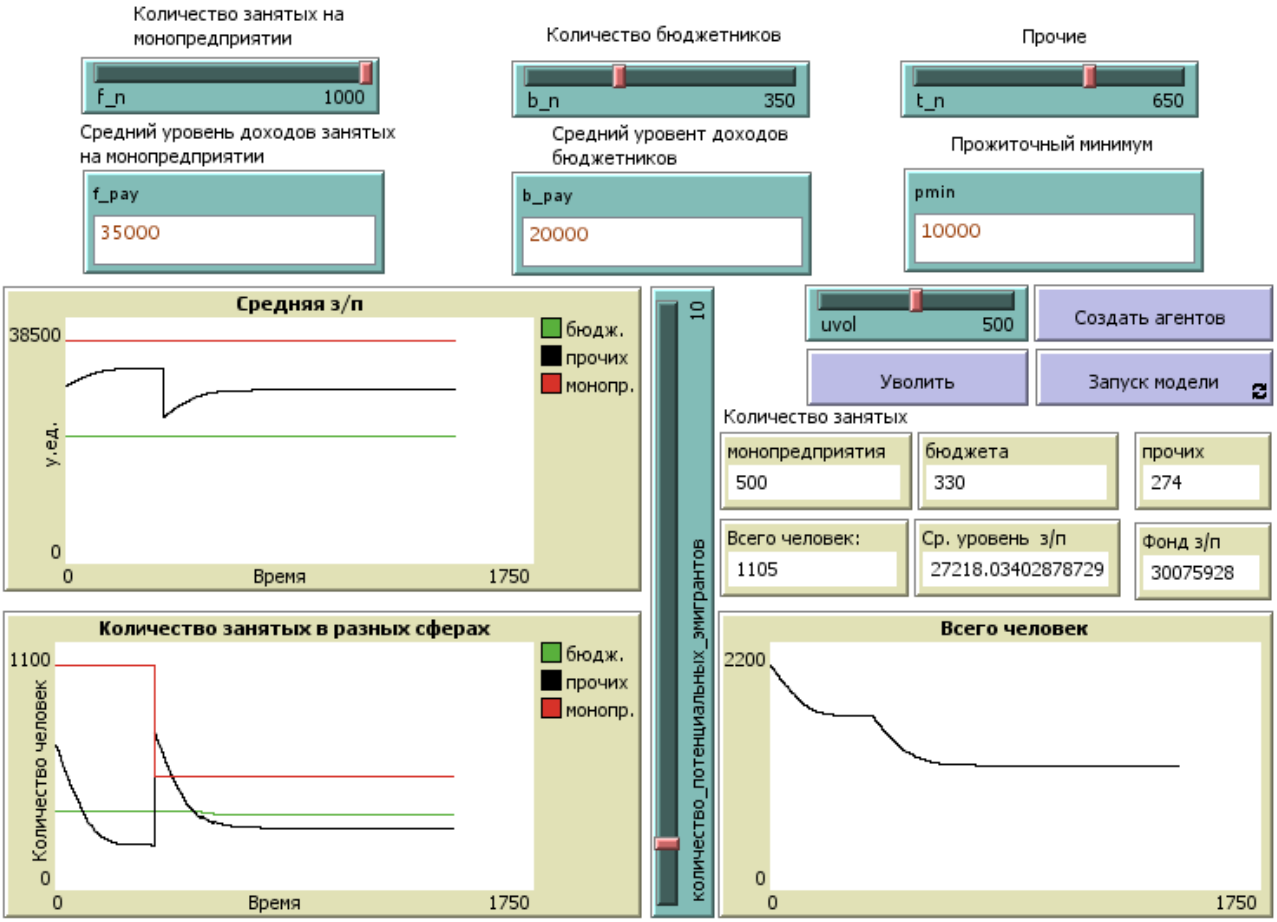


Рисунок 1. Интерфейс модели, реализованный в Netlogo

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Кнопку «Создать агентов» следует нажимать после настройки ползунков, регулирующих количество занятых в разных отраслях моногорода, установки параметров заработной платы населения и уровня прожиточного минимума.

После установки всех исходных параметров и нажатия кнопки «Создать агентов», в модели создается заданное количество агентов, для каждого из которых рассчитывается уровень желаемой заработной платы по формуле (2).

Далее, после нажатия кнопки «Запуск модели», в программе начинает воспроизводиться последовательность вычислительных циклов. Каждый цикл, рассчитывается уровень заработной платы работников прочих сфер занятости по формуле (1). В модели предполагается, что только индивиды прочих сфер занятости (не занятые на монопредприятии и не получающие заработную плату из госбюджета) являются потенциальными мигрантами. Каждый тик модели они сравнивают свой реальный уровень заработной платы с желаемым. Если реальный уровень заработной платы окажется ниже желаемого, индивид эмигрирует из моногорода.

Таким образом, с течением времени будет расти доля горожан получающих доходы из бюджета и занятых на монопредприятии. На практике наблюдается прямая связь между количеством занятых индивидов, получающих доходы из бюджета и общей численностью населения. Это объясняется тем, что большая численность населения требует большее число социальных и государственных служащих, и наоборот. Так, с падением численности населения города падает потребность в государственных служащих предоставляющих социаль-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

ные услуги и осуществляющих административные функции. Эта особенность учитывается в модели путем введения в ее механизм коэффициента, регулирующего соотношение численности работников получающих доходы из бюджета и общей численностью населения: если соотношение бюджетных служащих и общей численности населения превышает 30%, 10 работников получающих доходы из бюджета (увольняются и) переводятся в разряд «прочие».

После запуска модели и ее прихода в стационарное состояние, создаются благоприятные условия для проведения экспериментов по выявлению степени и характера влияния частичного или полного сокращения работников градообразующего предприятия. Для проведения подобного эксперимента модель имеет функцию, которая позволяет имитировать увольнение работников. Индивиды, потерявшие работу, переводятся в разряд «прочие».

С помощью агент-ориентированной модели мы хотим найти ответы на следующие четыре вопроса:

1. Как скажется увольнение половины работников градообразующего предприятия на миграционной активности и на среднем уровне заработной платы в моногороде, при условии, что основная часть общего фонда заработной платы города приходится на работников монопредприятия.

2. Как отразится закрытие градообразующего предприятия на миграционной активности и на среднем уровне заработной платы в моногороде, при условии, что основная часть общего фонда заработной платы города приходится на работников монопредприятия.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

3. Как скажется увольнение половины работников градообразующего предприятия на миграционной активности и на среднем уровне заработной платы в моногороде, при условии, что основная часть общего фонда заработной платы города приходится не на работников монопредприятия.

4. Как отразится закрытие градообразующего предприятия на миграционной активности и на среднем уровне заработной платы в моногороде, при условии, что основная часть общего фонда заработной платы города приходится не на работников монопредприятия.

Для ответа на вышеуказанные вопросы проведем соответствующие эмуляционные эксперименты.

1. Для ответа на первый вопрос зададим исходные установки модели следующим образом: показатель количества работников на градообразующем предприятии оставим на отметке 1 000, работников бюджетной сферы – 350, а количество прочих работников зададим на уровне 650 человек. Уровень заработной платы для работников градообразующего предприятия установим в размере 35 000, для бюджетников 20 000, а уровень прожиточного минимума расположим на отметке 10 000 условных денежных единиц (рис 1).

По истечении 280 итераций после запуска, модель приходит в стационарное состояние (рис. 1), с показателем средней заработной платы в 30 670 условных денежных единиц, и с численностью населения в 1 540 человек.

Далее, сократим вдвое штат работников монопредприятия (с 1 000 до 500). Результатом данного события явилось резкое сокращение средней заработной

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

платы и увеличение занятых не относящихся к бюджетной сфере и работников монопредприятия (рис 1). В дальнейшем стало наблюдаться сокращение населения в городе и изменение соотношения индивидов работающих в разных сферах экономики. После увольнения половины занятых большая часть населения стала заниматься торговлей и предоставлением услуг, либо перешла в теневой сектор. Вместе с увеличением числа эмигрантов, и уменьшением конкуренции на рынке труда, в городе стала расти средняя заработная плата.

Отвечая на первый вопрос, следует заключить, что в стационарном состоянии модель в относительных показателях и структуре занятости, приблизилась к прежней конфигурации, существовавшей до сокращения половины занятых на градообразующем предприятии, но только в меньших масштабах.

2. Для ответа на второй вопрос ликвидируем монопредприятие, «уволив» его работников.

На графиках (рис. 2) мы можем видеть, что ликвидация монопредприятия, когда на него приходится основная часть общего фонда заработной платы города, приводит к критическому падению численности населения. В конечно итоге в городе остается часть населения, получающая доходы из бюджета (это могут быть, в том числе и пенсионеры), и небольшая часть горожан с низкими претензиями на заработок. В долгосрочной перспективе средний уровень заработной платы в городе устанавливается ниже уровня прожиточного минимума.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

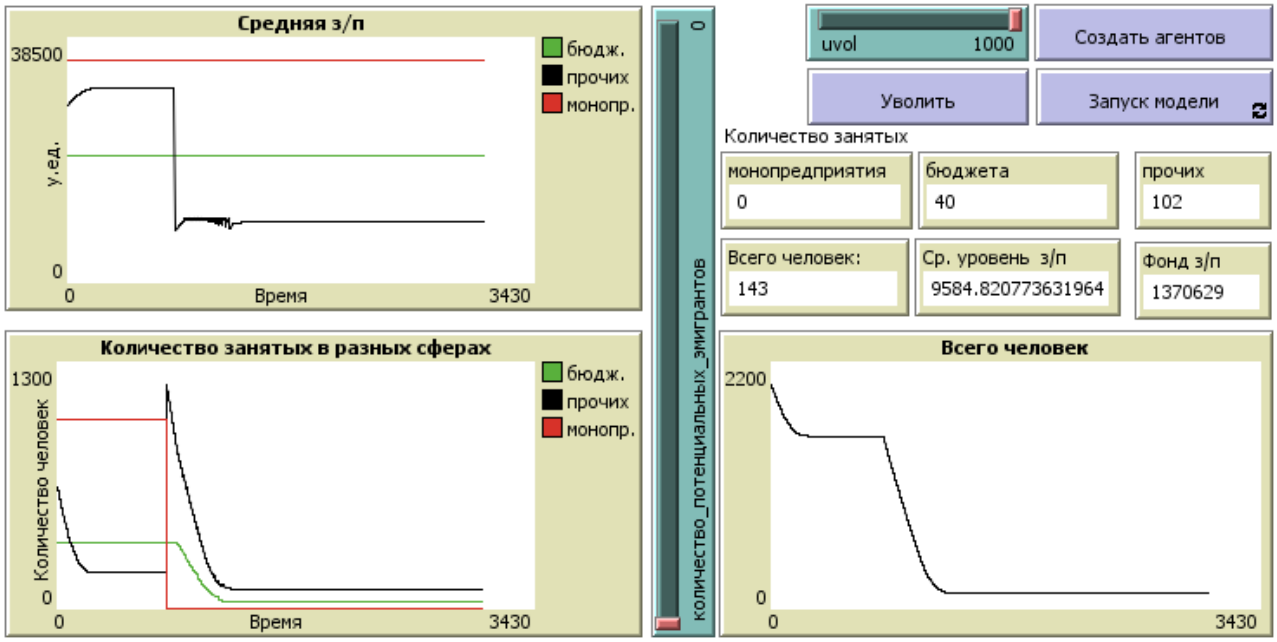


Рисунок 2. Интерфейс модели после полного сокращения штата работников монопредприятия (случай 2)

3. Отвечая на третий вопрос, запустим модель со следующими установками: количество работников на градообразующем предприятии 400 человек, бюджетников – 500 и количество прочих работников – 600. Прожиточный минимум установим на отметке 10 000; уровень заработной платы занятых на градообразующем предприятии – 20 000, работников бюджетной сферы – 28 000 условных денежных единиц.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

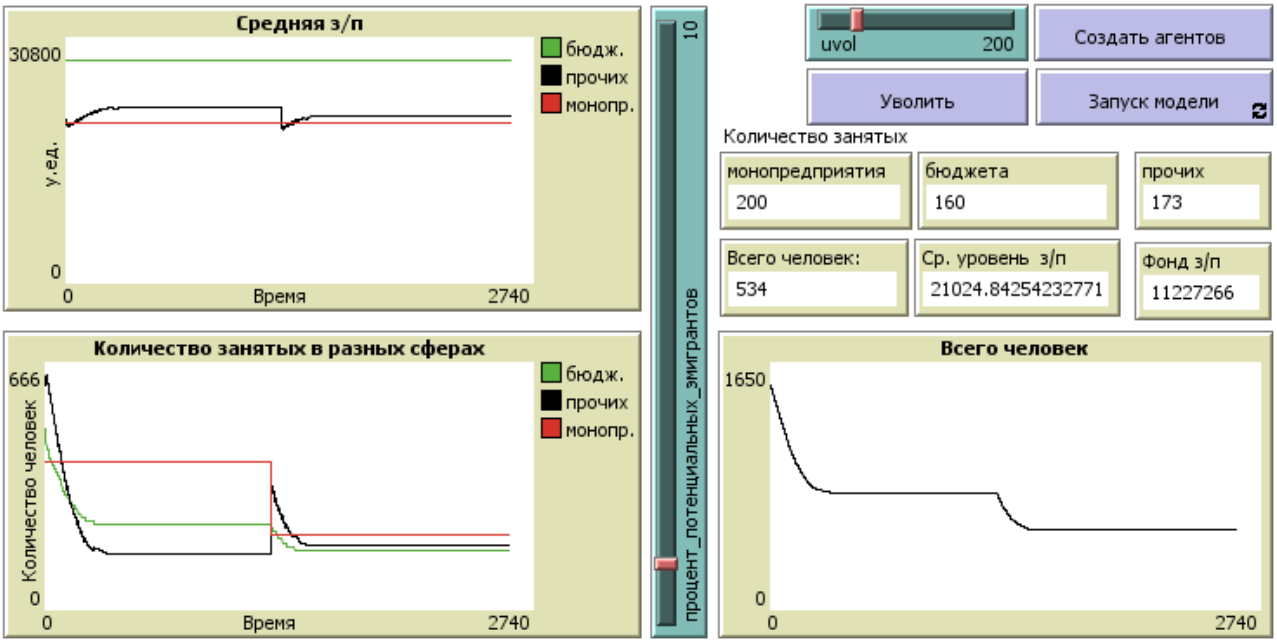


Рисунок 3. Интерфейс модели после сокращения штата работников монопредприятия вдвое (случай 3)

В стационарном состоянии в модели устанавливается средняя заработная плата на уровне около 22000 условных денежных единиц, а количество жителей в городе составляет 488. Элементарные арифметические расчеты подтверждают соответствие данных условий требуемым для проведения эксперимента: основная часть общего фонда заработной платы города приходится не на монопредприятие.

После сокращения штата работников монопредприятия вдвое, значительно уменьшается средний уровень заработной платы и численность населения. Также изменяется структура занятости: если до сокращения первую по численности группу составляли работники градообразующего предприятия, вторую –

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

бюджетники, а третью – работники прочих сфер занятости (торговля, услуги и теневая экономика), то после сокращения, ненадолго, на первое место выходят работники прочих сфер. Однако когда модель выходит в стационарное состояние, на первое место снова выходит группа работников монопредприятия, на второе – работники прочих сфер, а наименьшей группу в структуре экономики занимают бюджетники.

4. Для ответа на последний вопрос сохраним условия предыдущего эксперимента, и ликвидируем всех работников монопредприятия.

Результаты последнего эксперимента совпадают с результатами второго, однако здесь средний уровень заработной платы оставшихся в моногороде индивидов несколько превышает прожиточный минимум (рис. 4).

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

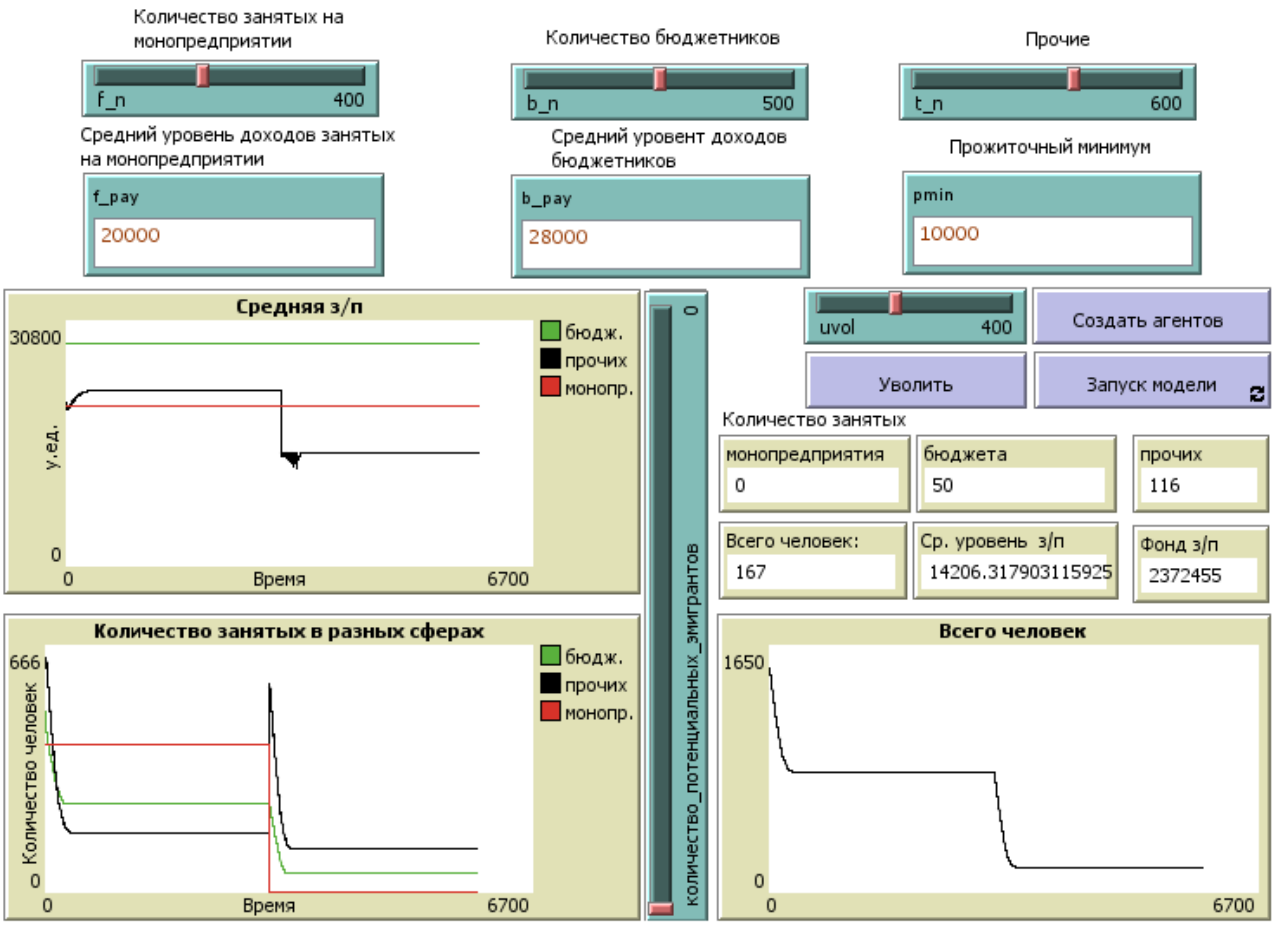


Рисунок 4. Интерфейс модели после ликвидации монопредприятия (случай 4)

В данной модели главным фактором, влияющим на решение индивида об эмиграции из моногорода, был уровень заработной платы. Однако в реальной жизни мотивация индивида детерминируется не одной, а целым комплексом различных объективных и субъективных причин. Помимо заработной платы, на решение индивида об эмиграции влияют его уровень образования, возраст, пол, наличие и характер личных связей в городе проживания и в городе возможного переезда и т.д. Включение данных факторов в приведенную модель может

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

стать путем ее позитивного усложнения и приближения к реальности в целях решения актуальных задач развития моногородов России [7].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 13-06-00309

Список использованной литературы

1. Павленко А.С. (2012) Моногорода: проблемы и перспективы. // IV Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум» 15 февраля – 31.03.2012. // Режим доступа: http://www.rae.ru/forum2012/pdf/1832.pdf (дата обращения: 01.05.2015).

2. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. (2013) Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М.: Экономика. – 295 с.

3. Зулькарнай И.У. (2014) Моделирование горизонтальной конкуренции юрисдикций // Ежеквартальный Интернет – журнал «Искусственные общества». 2014. Том 9. № 1-4. С.133-143

4. Зулькарнай И.У.(2014) Задача агент-ориентированного моделирования распределения функций по вертикали в асимметричной федерации // Вестник Башкирского университета. 2014. Т. 19. № 4. С. 1249-1255.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

5. Зулькарнай И.У., Гизатов Н.Р. (2011) Агент-ориентированная модель влияния размера заработной платы на мотивацию работодателей вводить инновации // Известия Уфимского научного центра РАН. 2011. № 2. С. 98–106.

6. Рамазанов Р.Р. (2015) Применение модели Ч.Тибу к исследованию миграционных процессов на основе агент-ориентированного подхода // Математические методы и модели в исследовании государственных и корпоративных финансов и финансовых рынков. Сборник материалов I Всероссийской молодежной научно-практической конференции (27-28 апреля 2015 г., г.Уфа)/ отв. ред. Зулькарнай И.У. – Уфа: Аэтерна. – 2015. С. 144-147.

7. Развитие моногородов России: монография / колл. авт. Под ред. д-ра экон. наук, проф. И.Н. Ильиной. М.: Финансовый университет, 2013. 168 с.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Корректная постановка обратных задач восстановления многомерных функций через нейросетевые модели в налоговом администрировании

©. Бирюков А.Н. (Стерлитамак)

1. Общий регуляризирующий оператор Тихонова

В работе [1] для задач интерпретации (восстановления) показано, что задача о минимизации стабилизатора на множестве с ограничениями типа неравенств может быть редуцирована к классической задаче на условный экстремум с ограничением вида равенств (метод Лагранжа). Такая задача, значительно более удобная для численного решения на ЭВМ, формулируется следующим образом. Пусть $\lambda>0$ числовой параметр. Выражение:

$$J_\lambda(z) \equiv \rho^2_{\tilde{U}}(Az, \tilde{u}) + \lambda\Omega(z), z \in \overset{*}{Z}, \qquad (1)$$

называется сглаживающим функционалом Тихонова для задачи интерпретации. Рассмотрим задачу:

$$z^{(\lambda)} = \arg\inf J_\lambda(z), \quad \rho^2_{\tilde{u}}(Az^\lambda, \tilde{u}) = \delta^2, \qquad (2)$$

где второе условие служит для алгоритмического выбора λ.

Задача (2), в самом деле, допускает более простой алгоритм решения. Для всякого $\lambda>0$ элемент $z^{(\lambda)}$ может быть (обычно однозначным образом) найден каким-либо прямым методом безусловной минимизации J_λ; уравнение (2) есть обычное трансцендентное уравнение $\varphi(\lambda) - \delta^2 = 0$ с алгоритмически определенной левой частью, и оно может быть решено любым из известных методов на ЭВМ; определив отсюда $\lambda = \lambda(\delta)$, находим и $z_\delta = z^{(\lambda(\delta))}$. Использование указанно-

го уравнения для определения значения параметра (λ) обычно называют методом «невязки» (невязка φ(λ)). Этот метод подробно изучался в работе [1].

Для замыкания задачи восстановления гиперповерхности Г(x) с использованием сглаживающего функционала Тихонова применительно к нейросетевому моделированию «ядра» модели следует определить δ. В качестве δ предлагается выбирать константу Липшица *L* как меру неоднородности данных косвенно зависящую от меры зашумления:

$$\delta \equiv L = \max_{i \in \overline{1,N}} \frac{\left\| y_2 - y_1 \right\|_{E_n}}{\left\| \vec{x}_2 - \vec{x}_1 \right\|_{E_n}}, \qquad (3)$$

где $\vec{x}_2, \vec{x}_1$ – две достаточно близкие точки в базе данных, а y_1, y_2 – соответствующие им значения выхода модели:

$$\left\| \vec{x}_2 - \vec{x}_1 \right\|_{E_n} \le r, r > 0. \qquad (4)$$

Как показано, некоторые обобщенно-корректные постановки обратных задач при самых общих предположениях относительно оператора A и искомого решения z и независимо от класса задачи связаны с конструкцией сглаживающего функционала Тихонова. Оказывается, что задача о минимизации этого параметрического функционала порождает целое семейство регуляризирующих операторов (РО), зависящих от выбора параметра λ.

В частности, для задач интерпретации (восстановления), описываемых операторным уравнением Az=u, существует семейство функций λ= λ(δ), таких, что экстремаль сглаживающего функционала $z^{\lambda(\delta)}$ сходится в метрике пространства Z при λ→0 к единственному точному решению операторного уравнения.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Если решение соответствующего операторного уравнения не единственно, то для любой из указанных зависимостей $\lambda = \lambda(\delta)$ имеет место сходимость $z^{\lambda(\delta)}$ к Ω-нормальному решению [1].

Определение. *Любой алгоритм минимизации сглаживающего функционала, построенного для обратной задачи, при заданном значении меры погрешности (или допуска) δ и каком-либо выборе зависимости $\lambda = \lambda(\delta)$, удовлетворяющей принципу регуляризации (или обеспечивающей принадлежность $z^{\lambda(\delta)}$ множеству допустимых значений), называется общим регуляризирующий оператором (РО) Тихонова.*

Для реализации общего регуляризирующего оператора Тихонова нужно решить следующие задачи.

1. Сформулировать алгоритм вычисления «прямых эффектов» т.е. невязки $\rho_{\tilde{u}}^2(Az^{\lambda}, \tilde{u})$. Для обратных задач это функционал качества, вообще говоря, более общего вида, чем невязка. Отметим, что расчет прямых эффектов осуществляется многократно в ходе решения обратной задачи и занимает обычно основную долю времени ЭВМ. Ввиду этого следует позаботиться о том, чтобы соответствующий алгоритм был по возможности максимально экономичным.

2. Выбрать стабилизатор $\Omega(z)$, учитывая имеющуюся априорную информацию о решении.

3. Следует выбрать способ согласования параметра λ с δ: $\lambda = \lambda(\delta)$ в соответствии с принципом регуляризации.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

4. Выбрать стратегию минимизации сглаживающего функционала. Отметим, что в этом отношении РО не отличается от алгоритмов, вытекающих из других корректных вариационных постановок и связан с использованием известных алгоритмов минимизации; вместе с тем структура сглаживающего функционала приводит к достаточно экономичной для ряда задач стратегии.

Один из способов согласования параметра λ с величиной δ по невязке был, упомянут, и он является элементом постановки задачи (2). Поскольку задача решается на алгоритмически вводимом множестве корректности, о близости $z^{\lambda(\delta)}$ к точному решению можно судить по близости наблюдаемого и рассчитанного эффектов, что и делают при таком выборе регуляризованного приближения. Этот алгоритм является общим для задач всех типов, если для них известна величина δ.

2. Регуляризация RBF-сетей

В теории регуляризации RBF-сетей используются специфические свойства этих сетей [2]:

- Имеется только один скрытый слой (рис. 1.), число нейронов, в котором равно числу сигналов, т.е. числу *N* примеров в данных.
- Активационные функции в узлах скрытого слоя – это функции Грина $G(\vec{x},\vec{x}_i)$ либо их частный случай – радиальные базисные функции $\varphi\|\vec{x}_i-\vec{x}\|$, где $\vec{x}_i$ – центр для функций Грина; $\vec{x}$ - текущее значение её аргумента.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

- Выходной слой в случае одномерного выхода ($y \in R^1$) представляет собой нейрон, выходом которого служит линейная взвешенная сумма всех выходов узлов промежуточного слоя.
- В случае если в качестве функции Грина используется многомерная функция Гаусса (33), то она обладает нужным для регуляризации свойством непрерывной дифференцируемости, включая вторые производные по своим аргументам.

Запишем функционал сглаживания А.Н.Тихонова (1) в виде:

$$F_\lambda(z) = E_s(z) + E_c(z). \qquad (5)$$

Здесь первое слагаемое, обозначаемое $E_s(F)$, описывает стандартную ошибку (расстояние между желаемым откликом d_i и фактическим выходным сигналом нейросети y_i, для примера обучения $i=1,2,\ldots, N$). В частности, можно определить:

$$E_s(F) = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N}(d_i - y_i)^2 = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N}\left[d_i - F(\vec{x}_i)\right]^2, \qquad (6)$$

где $F(\vec{x}_i) \equiv \hat{Y}(\vec{x}_i, W)$ – нейросетевое отображение в задаче интерполяции.

Второе слагаемое, обозначенное $E_c(F)$, в классической записи функционала А.Н.Тихонова равно:

$$E_c(F) = \lambda\Omega(F(\vec{x})), \qquad (7)$$

должно зависеть от «геометрических» свойств функции аппроксимации нейросети $F(\vec{x})$.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Учитывая свойства гладкости функции Грина $G(\vec{x},\vec{x}_i)$, упомянутые выше, можно положить:

$$E_c(F)=\frac{1}{2}\lambda\|DF\|_{L_2}^2, \qquad (8)$$

где D – *линейный дифференциальный оператор.* Априорная информация о форме решения (т.е. о функции отображения $F(\vec{x})$), включенная в дифференциальный оператор D, обеспечивает его зависимость от конкретной задачи. Оператор D иногда еще называют *стабилизатором*, так как в задаче регуляризации он стабилизирует решение, делая его гладким и, таким образом, удовлетворяющим свойству непрерывности.

Символ $\|\bullet\|$ в выражении (8) обозначает норму в функциональном пространстве, к которому принадлежит $DF(\vec{x})$. При обычных условиях используемое здесь функциональное пространство является *гильбертовым пространством* L_2, состоящим из всех действительных функций $f(\vec{x})$, $\vec{x}\in R^n$, для которых норма $\|f(\vec{x})\|^2$ является интегрируемой по Лебегу. Используемая здесь функция $f(\vec{x})$ обозначает фактическую функцию, описывающую моделируемый экономичный процесс, отвечающий за генерацию пар примеров обучения $\{(\vec{x}_i,d_i)\}_{i=1}^N$.

Величиной, которую требуется минимизировать в теории регуляризации, является

$$E(F)=E_s(F)+\lambda E_c=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N}[d_i-F(\vec{x}_i)]^2+\frac{1}{2}\lambda\|DF\|^2, \qquad (9)$$

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

где λ – положительное действительное число, называемое *параметром регуляризации*; *E(F) – функционал Тихонова*. Функционал отображает функции (определенные в соответствующем функциональном пространстве) на ось действительных чисел.

$$E(F) : L_2 \rightarrow R^1. \qquad (10)$$

Аргминимум функционала Тихонова *E(F)* (т.е. решение задачи регуляризации) обозначается $F_\lambda(\vec{x})$:

$$J_\lambda(\vec{x}) : \arg\min_F E(F). \qquad (11)$$

В некотором смысле параметр регуляризации λ можно рассматривать как индикатор достаточности данного набора данных для определения решения $J_\lambda(\vec{x})$. В частности, крайний случай, $\lambda \rightarrow 0$, означает, что задача является безусловной и имеет решение $J_\lambda(\vec{x})$, целиком зависящее от примеров. Другой крайний случай, $\lambda \rightarrow \infty$, предполагает, что самого априорного ограничения на гладкость, представленного дифференциальным оператором *D*, достаточно для определения решения $J_\lambda(\vec{x})$. Это может указывать также на недостаточное количество примеров. В практических приложениях параметр регуляризации λ принимает некоторое среднее значение между этими двумя крайними случаями. Этим определяется влияние на решение, $J_\lambda(\vec{x})$ как априорной информации, так и данных обучающей выборки. *Таким образом, слагаемое регуляризации $E_c(F)$ представляет собой функцию штрафа за сложность модели, влияние которой на окончательное решение определяется параметром регуляризации λ.*

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

В [2] показано, что с помощью применения тождества Грина к выражению дифференциала Фреше $dE_c(F,h)$ из (9) и затем использования уравнения Эйлера-Лагранжа и функции Грина $G(\vec{x},\vec{\xi})$, можно получить уравнение для выбора аппроксимирующего восстанавливающего оператора $F(\vec{x})$ многомерную функцию $Y(\vec{X})$:

$$LF(\vec{x}) = \varphi(\vec{x}), \tag{12}$$

где $\varphi(\vec{x})$ непрерывная или кусочно-непрерывная функция аргумента $\vec{x} \in R^n$; L – линейный дифференциальный оператор.

Решением дифференциального уравнения (12) является непрерывная или кусочно-непрерывная функция $F(\vec{x})$ аргумента $\vec{x} \in R^n$:

$$F(\vec{x}) = \int_{R^n} G(\vec{x},\vec{\xi})\phi(\xi)d\xi, \tag{13}$$

где $G(\vec{x},\vec{\xi})$ – функция Грина для линейного оператора дифференцирования L [2]; ξ – переменная интегрирования.

Теперь оговорим свойства функции Грина $G(\vec{x},\vec{\xi})$, которая в RBF-сетях используется в качестве активационной:

1. Для фиксированного аргумента $\vec{\xi}$ $G(\vec{x},\vec{\xi})$ является функцией от $\vec{x}$ и удовлетворяет граничным условиям.
2. Во всех точках, исключая $\vec{x} = \vec{\xi}$, все производные от $G(\vec{x},\vec{\xi})$ по переменной $\vec{x}$ являются непрерывными, количество производных определяется порядком оператора L.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

3. По переменной $\vec{x}$ функция $G(\vec{x},\vec{\xi})$ удовлетворяет уравнению в частных производных:

$$LG(\vec{x},\vec{\xi})=0 \qquad (14)$$

всюду, кроме точки $\vec{x}=\vec{\xi}$, где $G(\vec{x},\vec{\xi})$ имеет особенность. Это значит, что функция $G(\vec{x},\vec{\xi})$ удовлетворяет уравнению в частных производных в смысле распределения:

$$LG(\vec{x},\vec{\xi})=\delta(\vec{x}-\vec{\xi}),$$

где $\delta(\vec{x}-\vec{\xi}),$ – дельта-функция Дирака с центром в точке $\vec{x}=\vec{\xi}$.

Решение задачи регуляризации.

Следуя [2], запишем уравнение Эйлера-Лагранжа для функционала Тихонова $E(F(\vec{x}))$. Оно является необходимым условием существования экстремума функционала Тихонова в точке $F_\lambda(\vec{x})$:

$$\tilde{D}D_\lambda J(\vec{x})=\frac{1}{\lambda}\sum_{i=1}^{N}[d_i-F(\vec{x}_i)]\delta(\vec{x}-\vec{x}_i). \qquad (15)$$

Здесь $\tilde{D}$ – оператор, сопряженный с D.

Тогда с учетом $L=\tilde{D}D$ и (12) можно записать решение уравнения Эйлера-Лагранжа в виде [2]:

$$J_\lambda(\vec{x})=\frac{1}{\lambda}\sum_{i=1}^{N}[d_i-F(\vec{x}_i)]G(\vec{x},\vec{x}_i). \qquad (16)$$

Выражение (16) означает, что аргминимум функционала Тихонова регуляризации является линейной суперпозицией N функций Грина. Векторы $\vec{x}_i$,

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

представляют собой *центры разложения*, а веса $[d_i - F(\vec{x}_i)]/\lambda$ - *коэффициенты разложения решения по базисным функциям Грина.*

Другими словами, решение задачи регуляризации лежит в N-мерном подпространстве пространства гладких функций, а множество функций Грина $\{G(\vec{x},\vec{x}_i)\}$, *с центром в* $\vec{x}_i$, *i = 1, 2,…, N, определяется базис этого подпространства [2].*

Коэффициенты разложения в (16) являются, во-первых, линейными относительно ошибки оценки, определенной как разность между желаемым откликом d_i и соответствующим выходным сигналом нейросети $F(\vec{x}_i)$, и, во-вторых, обратно пропорциональными параметру регуляризации λ.

Алгоритм определения коэффициентов разложения

Следующим вопросом является определение коэффициентов разложения в выражении (16). Положим синоптические веса нейронов положить равными:

$$w_i = \frac{1}{\lambda}[d_i - F(\vec{x}_i)], i = 1,2,...,N. \qquad (17)$$

Тогда выражение минимизирующего решения (16) можно упростить, т.е. явно выразить через функции Грина:

$$J_\lambda(\vec{x}) = \frac{1}{\lambda}\sum_{i=1}^{N} w_i G(\vec{x},\vec{x}_i). \qquad (18)$$

Вычисляя $J_\lambda(\vec{x})$ в точке $\vec{x}_j$, j=1,2,…,N, получим:

$$J_\lambda(\vec{x}_j) = \frac{1}{\lambda}\sum_{i=1}^{N} w_i G(\vec{x}_j,\vec{x}_i), j = 1,2,...,N. \qquad (19)$$

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Введем следующие обозначения:

$$\vec{J}_\lambda = [J_\lambda(\vec{x}_1), F_\lambda(J_2), ..., J_\lambda(\vec{x}_N)]^T, \quad (20)$$

$$\vec{d} = [d_1, d_2, ..., d_N]^T, \quad (21)$$

$$G = \begin{bmatrix} G(\vec{x}_1, \vec{x}_1) & G(\vec{x}_1, \vec{x}_2) & ... & G(\vec{x}_1, \vec{x}_N) \\ G(\vec{x}_2, \vec{x}_1) & G(\vec{x}_2, \vec{x}_2) & ... & G(\vec{x}_2, \vec{x}_N) \\ ... & ... & ... & ... \\ G(\vec{x}_N, \vec{x}_1) & G(\vec{x}_N, \vec{x}_2) & ... & G(\vec{x}_N, \vec{x}_N) \end{bmatrix}, \quad (22)$$

$$\vec{w} = [w_1, w_2, ..., w_N]^T, \quad (23)$$

Теперь (17) и (18) можно переписать в матричной форме:

$$w = \frac{1}{\lambda}[\vec{d} - \vec{J}_\lambda], \quad (24)$$

$$\vec{J}_\lambda = G\vec{w} \quad (25)$$

Подставляя выражение для $J_\lambda(\vec{x})$ из (25) и (24) и переставляя слагаемые, получим:

$$(G + \lambda I)\vec{w} = \vec{d}, \quad (26)$$

где I – единичная матрица размерности $N \times N$. Матрица G называется *матрицей Грина.* Оператор дифференцирования L, определяемый выражением $L = \tilde{D}D$, является *самосопряженным.* Это значит, что оператор, сопряженный L, равен ему самому. Отсюда следует, что ассоциированная функция Грина $G(\vec{x}, \vec{x}_i)$ является *симметричной*, т.е.

$$G(\vec{x}_i, \vec{x}_j) = G(\vec{x}_j, \vec{x}_i) \forall i, j. \quad (27)$$

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Уравнение (27) означает, что позиции двух точек $\vec{x}_i$ и $\vec{x}_i$ можно поменять местами, при этом значение функции Грина $G(\vec{x}_j, \vec{x}_i)$ не изменится. Аналогично, матрица Грина, определяемая выражением (22), является *симметричной*, т.е.

$$G^T = G. \qquad (28)$$

Теперь можно применить теорему Мичелли [4] об интерполяции, в контексте матрицы интерполяции *B*. Во-первых, заметим, что матрица Грина *G* играет в теории регуляризации роль, аналогичную той, которую матрица *B* играет в теории интерполяции на основе сетей RBF. Обе матрицы, *B* и *G*, являются симметричными и имеют размерность $N \times N$. Следовательно, можно утверждать. Что матрица *G* для некоторых классов функций Грина также, как и матрица *J*, является положительно определенной при условии, что точки $\vec{x}_1,...\vec{x}_N$ различны. Классы функций Грина, охватываемые теоремой Мичелли [2], включают обратные параболические функции и функции Гаусса, но не включают параболические функции. На практике всегда можно выбрать значение λ, достаточно большое для обеспечения положительной определенности матрицы $(G + \lambda I)$ и, таким образом, для возможности ее обращения. А это, в свою очередь, значит, что система линейных уравнений (26) имеет единственное решение, определяемое следующим образом [2]:

$$\vec{w} = (G + \lambda I)^{-1} \vec{d}. \qquad (29)$$

Таким образом, выбрав оператор дифференцирования *D* и имея набор функций Грина $G(\vec{x}, \vec{x}_i)$, где $i=1,2,...,N$, соотношение (29) можно использовать

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

для получения вектора весов $\vec{w}$, соответствующего вектору желаемого отклика $\vec{d}$ и данному значению параметра регуляризации λ.

В заключение можно утверждать, что решение задачи регуляризации для RBF-сетей задается разложением (18), где $G(\vec{x},\vec{x}_i)$ функция Грина для самосопряженного оператора $L=\tilde{D}D$; w_i – i-й элемент вектора весов $\vec{w}$. Уравнение (18) означает следующее [2]:

- Регуляризационный подход эквивалентен разложению решений в терминах множества функций Грина, характеристики которых зависят от принятой формы оператора дифференцирования D в стабилизаторе Тихонова и соответствующих граничных условий.
- Количество функций Грина, используемых в разложении, равно количеству примеров, используемых при обучении.

Характеристика функции Грина $G(\vec{x},\vec{x}_i)$ для заданного центра $\vec{x}_i$ зависит только от формы стабилизатора D (согласно априорному предложению касательно искомого отображения «вход-выход»). Если стабилизатор D является *инвариантным к преобразованиям*, то функция Грина $G(\vec{x},\vec{x}_i)$ с центром в x_i будет зависеть только от разности между аргументами $\vec{x}$ и $\vec{x}_i$,т.е.

$$G(\vec{x},\vec{x}_i)=G(\vec{x}-\vec{x}_i). \qquad (30)$$

Если же стабилизатор D *инвариантен* как *к преобразованиям*, так и *к поворотам*, то функция Грина $G(\vec{x},\vec{x}_i)$ будет зависеть только евклидовой нормы вектора разности $(\vec{x}-\vec{x}_i)$., т.е.:

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

$$G(\vec{x},\vec{x}_i) = G(\|\vec{x}-\vec{x}_i\|). \qquad (31)$$

При этих условиях функция Грина должна быть радиальной базисной функцией. В таком случае решение задачи регуляризации (18) принимает следующую частную форму [2]:

$$J_\lambda(\vec{x}) = \frac{1}{\lambda}\sum_{i=1}^{N} w_i G(\|\vec{x}-\vec{x}_i\|). \qquad (32)$$

Решение (32) определяется пространство линейных функций, зависящее от известных точек данных и с учетом евклидова расстояния.

Решение, описанное выражением (32), называется *строгой интерполяцией*, так как для интерполяции функции $F(\vec{x})$ используются все N точек, доступных для обучения. Однако при этом важно отметить, что это решение регуляризировано с помощью определения (29) для вектора весов $\vec{w}$. Только при достижении параметров регуляризации значения, равного нулю, эти два решения становятся идентичными.

Многомерные функции Гаусса

Функция Грина $G(\vec{x},\vec{x}_i)$, линейный дифференциальный оператор D, которой инвариантен к трансформациям и вращению и удовлетворяет условию (31), представляют на практике большой интерес. Примером такой функции Грина является *многомерная функция Гаусса*, определяемая следующим образом [2]:

$$G(\vec{x},\vec{x}_i) = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_i^2}\|\vec{x}-\vec{x}_i\|\right). \qquad (33)$$

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Определяя функцию Грина $G(\vec{x},\vec{x}_i)$ в специальном виде (33), регуляризируемое решение (32) принимает форму линейной суперпозиции многомерных функций Гаусса:

$$F_\lambda(\vec{x}) = \sum_{i=1}^{N} w_i \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_i^2}\|\vec{x}-\vec{x}_i\|\right), \qquad (34)$$

где сами линейные веса w_i определяются по формуле (17).

В выражении (34) отдельные слагаемые функции Гаусса, определяющие функцию аппроксимации $F(\vec{x})$, в качестве аргументов содержат разные переменные. Для упрощения изложения в $F(\vec{x})$ часто принимается условие $\sigma_i = \sigma$ для всех i, несмотря на то, что определенные таким образом функции имеют несколько ограниченный вид, они остаются универсальными аппроксиматорами [2].

Таким образом, можно сделать обобщающий вывод по методологии обеспечения устойчивости задачи восстановления гиперповерхности с помощью нейросетей RBF-типа для прикладных задач с наиболее сложными условиями моделирования – сильным зашумлением данных, отягченным дефицитом наблюдений.

Целесообразно ставить задачу восстановления как задачу строгой интерполяции с использованием N доступных обучению примеров и выбору RBF-сетей с радиальными базисными функциями, удовлетворяющими методу регуляризации Тихонова. При этом интерполирующий оператор $J_\lambda(\vec{x})$ находится в виде линейной комбинации (разложения) базисных функций Грина, в частно-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

сти, многомерных функций Гаусса, а существование решения матричного уравнения (29) для синоптических весов гарантируется положительной определенностью матрицы Грина G и, соответственно матрицы $(G+\lambda I)$, где λ – параметр регуляризации ($\lambda > 0$). Число радиальных базисных функций в разложении, и соответственно число нейронов скрытого слоя равно числу N примеров, т.е. векторов $\vec{x}_i$ в данных, что важно в условиях дефицита наблюдений.

Оценивание параметров регуляризации

Оценивание параметра регуляризации λ для построения регуляризированного решения $J_\lambda(\vec{x})$ является нетривиальной задачей [3]. Прежде всего, нужно выбрать числовую меру для качества оценки λ, т.е. нахождения оптимального значения λ^* либо, чтобы сполна использовать возможности теории регуляризации, необходимо применить столь же принципиальный подход к оценке λ. Общая идея оценки параметра регуляризации, состоит в минимизации среднеквадратической ошибки $S(\lambda)$ между восстанавливаемой нелинейной многомерной функцией $Y(\vec{x}_i)$, «зашитой» в зашумленной базе данных, и расчетными значениями $F_\lambda(\vec{x})$ регуляризированного решения на множестве точек $i = \overline{1, N}$.

Главная трудность здесь состоит в том, что восстанавливаемая функция $Y(\vec{x})$ априори неизвестна. Эту трудность можно обойти, если в задаче минимизации для определения λ^* заменить теоретическое значение $S(\lambda)$ на некоторую приближенную статическую оценку $\hat{S}(\lambda)$, удовлетворяющую требованиями состоятельности и несмещенности:

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

$$S(\lambda) \to \hat{S}(\lambda) : M\left[\hat{S}(\lambda)\right] = M\left[S(\lambda)\right]; \lim P\left(\left|S(\lambda) - \hat{S}(\lambda)\right| < \eta\right) \to 1, \qquad (34)$$

где $P(\bullet)$ – вероятность; $\eta>0$ – сколь угодно малое число; $M(\bullet)$ – оператор математического ожидания.

Отметим одну общую особенность выбора λ, который является нетривиальной задачей, ибо этот выбор должен обеспечить компромисс между следующими двумя противоречивыми моментами:

- Грубость (roughness) решения, определяемая стабилизатором Тихонова $\|DF(\vec{x})\|_{L_2}^2$.
- Недостоверность (infidelity) данных, определяемая слагаемым стандартной ошибки $\sum_{i=1}^{N}\left[d_i - F(x_i)\right]^2$.

В данной работе высказывается гипотеза: *определение λ можно осуществить на основе байесовского подхода, т.е. связать выбор λ с максимизацией Evidence (знаменателя формулы Байеса).*

Для реализации разложения регуляризованной функции аппроксимации $J_\lambda(\vec{x})$, предоставленной в (32) в терминах функции Грина $G(\vec{x},\vec{x}_i)$ с центром в точке $\vec{x}_i$, можно использовать нейросетевую структуру, показанную на рис. 1. Такие сети называются *сетями регуляризации*. Эта сеть имеет три слоя. Входной слой состоит из входных узлов, количество которых равно размерности n_0 вектора входного сигнала $\vec{x}$ (т.е. количеству независимых переменных в задаче). Второй слой является скрытым. Он состоит из нелинейных элементов, ко-

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

торые *непосредственно* связаны со всеми узлами входного слоя. Для каждой точки данных $\vec{x}_i$ ($i = 1,2,\ldots,N$, где N – размер множества примеров обучения) существует свой скрытый узел. Функциями активации отдельных узлов скрытого слоя являются функции Грина. Следовательно, выходной сигнал i-го нейрона скрытого слоя определяется как $G(\vec{x},\vec{x}_i)$. Выходной слой состоит из единственного линейного нейрона, связанного со всеми узлами скрытого слоя. Под «линейностью» подразумевается то, что его выход является линейно-взвешенной суммой всех выходных сигналов скрытого слоя согласно (29). Веса выходного слоя являются неизвестными коэффициентами разложения, определяемого в терминах функций Грина и параметра регуляризации λ. На рис.1 и на рис. 2 показана архитектура сети регуляризации с одним выходом. На рисунке видно, что такая архитектура может быть расширена для выходного сигнала любой размерности.

В сети регуляризации, показанной на рис. 2., предполагается, что функция Грина $G(\vec{x},\vec{x}_i)$ является *положительно-определенной* для всех $\vec{x}_i$.

При выполнении этого условия (например, если функция Грина имеет вид функции Гаусса (33)) решение, генерируемое сетью, будет являться оптимальной интерполяцией в смысле минимизации функционала $\vec{E}(F)$. Более того, с точки зрения теории аппроксимации сети регуляризации обладают следующими положительными свойствами.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

1. Сеть регуляризации является универсальным аппроксиматором в том смысле, что при большом количестве скрытых элементов она способна довольно хорошо аппроксимировать любую непрерывную функцию на компактном подмножестве из R^n.

2. Так как схема аппроксимации, вытекающая из теории регуляризации, является линейной относительно неизвестных коэффициентов, то сети регуляризации обладают свойством *наилучшей аппроксимации*. Это значит, что для неизвестной линейной функции f всегда существует такой набор

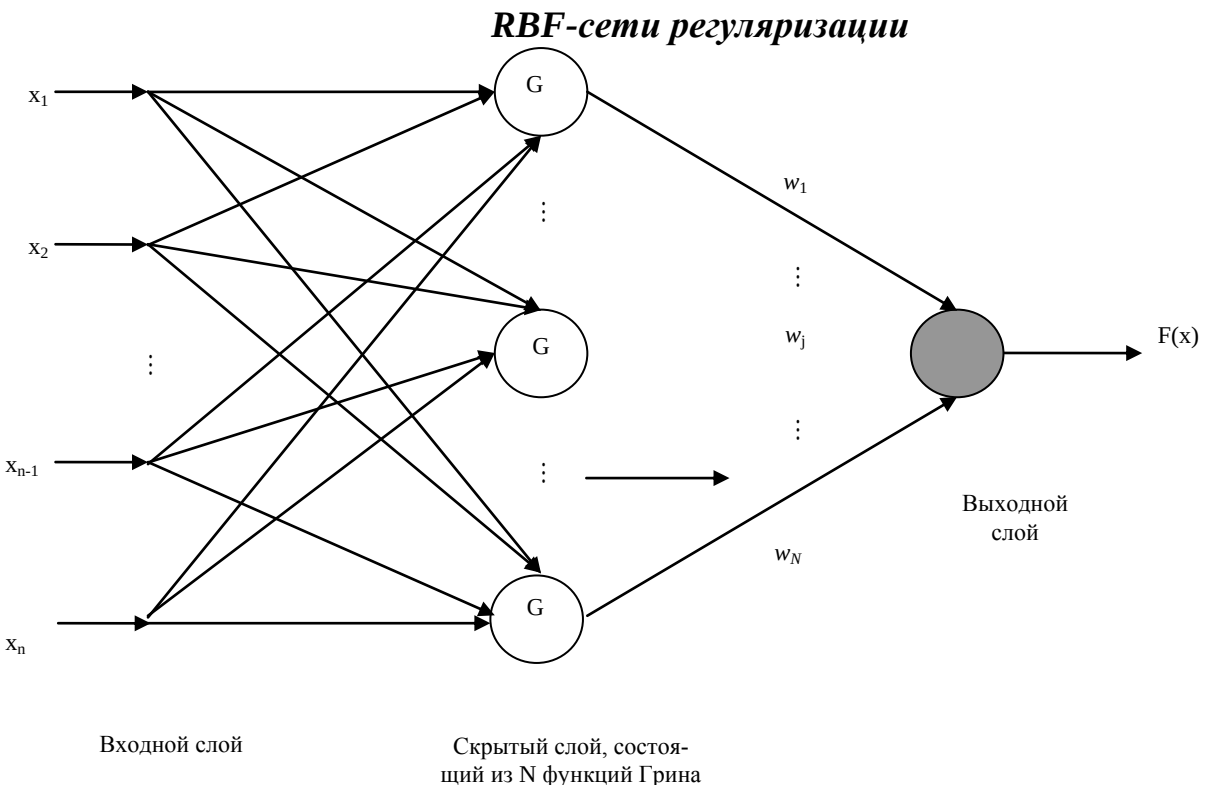


Рис. 1. Сеть регуляризации в терминах функции Грина

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

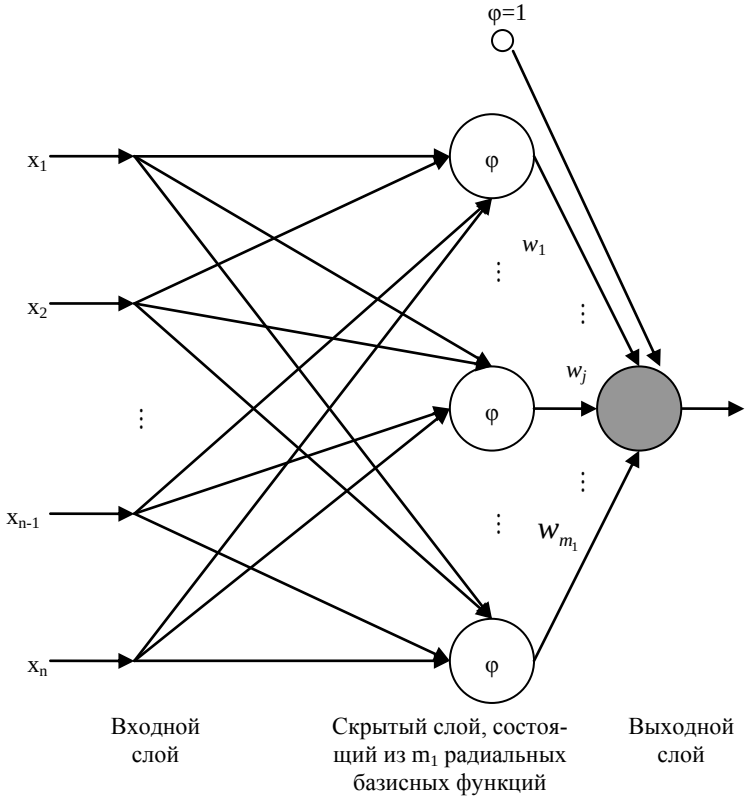


Рис. 2. Сеть регуляризации в терминах радиальных базисных функций (RBF-сети)

коэффициентов, который аппроксимирует функцию f лучше любого другого набора.

3. Решение, обеспечиваемое сетью регуляризации, является *оптимальным*. Под оптимальностью здесь понимается то, что сеть минимизирует функционал, измеряющий удаленность решения от своего истинного значения, представленного примерами обучения.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Литература

1. Тихонов А.Н., Леонов А.С., Ягола А.Г. (1995) Нелинейные некорректные задачи. – М.: Наука.-312с.

2. Хайкин С. (2006) Нейронные сети: полный курс, 2-е издание: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс» – 1104с.

3. Бирюков А.Н. (2011) Теоретические основы разработки нейросетевых моделей в системе налогового администрирования. − Уфа: АН РБ, Гилем. − 380с.

4. Бирюков А.Н. (2011) Байесовская регуляризация нейросетевых моделей ранжирования и кластеризации экономических объектов. – Уфа: Академия наук РБ, издательство «Гилем».– 292с.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Прогнозирование оценки населением своего материального положения с использованием агенто-ориентированной модели общества потребления.

© Кензин Т.Р.(Москва)

Оценка человеком своего материального положения является важнейшим фактором формирования его мироощущения, оценок качества жизни и удовлетворенности ею. Государство способствует улучшению материального положения людей, главным образом, через повышение их денежных доходов — пенсий, субсидий, пособий, зарплаты бюджетников и т.п. И для осуществления эффективной социальной политики оно должно располагать четкой информацией о связи динамики изменения уровня доходов и оценок материального положения в различных социальных группах населения.

Анализ статистики отдельных волн наблюдений, в принципе, позволяет выявить зоны устойчивых связей между доходами и оценкой материального положения. Так, расчеты, сделанные по материалам [1], показывают, что в интервале доходов семьи от 3 до 30 тысяч рублей среднее значение оценки материального положения по десятибалльной шкале стабильно растет (с 2,52 до 5,98, т.е. более чем в два раза). Однако ошибочным было бы полагать, что доведи государство средние доходы населения до 30 тысяч рублей, среднее значение оценки последним своего материального положения сразу составило бы 5,98.

Оценка человеком своего материального положения зависит не только от доходов, она является согласно [2] функцией уровней его материальной

обеспеченности и материальных потребностей, а также направлений и интересов личности. При этом известно, что материальные потребности личности изменяются и с ростом собственных доходов, и в связи с изменениями в обществе стандартов потребления (неких общих характерных для общества потребностей в материальных благах). Проблема состоит в том, что выявляемые в ходе опросов населения связи между доходами и оценками материального положения характеризуют лишь сиюминутные соотношения потребностей и доходов населения. Они не могут быть прямо использованы для прогнозирования динамики их изменения, так как с ростом доходов населения меняется структура потребления и, соответственно, стандарты жизни, по отношению к которым и производится оценка.

Учитывая, что основные факторы, определяющие значение оценки, связаны между собой (не независимы), создание адекватной модели процесса формирования человеком оценки своего материального положения методами регрессионного или факторного анализа невозможно по определению. Возможный вариант решения задачи — создание симулятора материальной стороны жизни человеческого общества (агенто-ориентированной модели общества потребления). В статье представлено описание модели, разработанной автором на кафедре системного анализа НИЯУ МИФИ, и некоторые результаты экспериментов с ней.

1. Описание модели.

Общий подход к созданию симулятора поведения человека предложен В.А. Истратовым [3]. Описываемую ниже модель можно рассматривать как развитие

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

этого подхода в части мотивирования действий агентов, схем принятия решений и оценки результатов действий, а также взаимодействия агентов с внешней средой и между собой, позволившее создать модельное сообщество, воспроизводящее материальную сторону жизни людей с более высокой степенью приближения.

1.1. Общая характеристика модели. Модель в целом представляет собой виртуальное сообщество независимых, действующих в сугубо материальной сфере жизни, взаимодействующих между собой и с внешней средой субъектов (агентов). Поведение агентов мотивируется основными человеческими инстинктами и социальными факторами, зависит от их личностных качеств и состояния внешней среды и представляется действиями, связанными с некоторыми затратами физических сил и денежных средств.

Агенты характеризуются индивидуальным отношением к различным жизненным благам (потребностью в них), возможностями эти блага получить (или без них обойтись) — запасами денежных средств, продовольствия, сил, информации и терпения, а также эмоциональным состоянием (как следствием удовлетворения потребностей) и обобщенной оценкой полноты удовлетворения потребностей (оценкой материального положения). Кроме того, агенты обладают такими характеристиками состояния как дальновидность, экономность, усталость и голод.

Базовая модель поведения агентов строится в соответствии с потребностно-информационной теорией эмоций П.В.Симонова [4]. Потребности агентов в благах подразделяются на потребности нужды и потребности роста.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Потребности нужды в модели — это потребности в удовлетворении основных физиологических и социальных нужд человека (в сне, пище, одежде, жилье и т. д.), непосредственно определяющие набор и последовательность действий агента. Из [5,6,7] известно, что девяносто процентов времени человека уходит на выполнение девяти основных действий (сон, принятие пищи, работа, поход в магазин, занятие хобби, работа по дому, релаксация, уход за собой, общение с друзьями). Следовательно, набор потребностей нужды, стимулирующих выполнить эти действия, можно считать достаточно близким к исчерпывающему в материальной сфере жизни человека. Принятый в модели перечень потребностей человека, мотивирующих его к этим девяти действиям и отражающих его основные, на наш взгляд, психофизиологические и социальные установки, представлен в табл. 1.

Таблица 1

Соответствие действий потребностям нужды агентов

Потребности	Действия
Потребность в отдыхе	Сон, релаксация
Потребность в питании	Прием пищи
Потребность в продуктах	Поход в магазин
Потребность в деньгах	Работа
Потребность в работе	Работа
Потребность в гигиенических процедурах	Уход за собой
Потребность в самореализации	Занятие хобби
Потребность в комфортном быте	Работа по дому
Потребность в лечении	Поход в магазин (аптеку), прием у врача
Потребность в общении	Общение с друзьями, душевное общение
Потребность в жилье, транспорте, средствах коммуникации	Поход в магазин (банк для оплаты аренды и услуг ЖКХ)
Потребность в одежде и предметах обихода	Поход в магазин

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Включение в состав потребностей нужды потребности в деньгах обусловлено тотальной «деньгизацией» жизни современного человеческого общества. Как показано в [8] в среднем через деньги в современном мире удовлетворяется 85% потребностей человека в продуктах питания, 90% потребностей в одежде, 80% — в жилье, 95% — в транспортных услугах.

Мотивирующее воздействие на человека, помимо потребностей нужды оказывает потребность роста. Для агента в обществе потребления под потребностью роста понимается потребность в получении более качественного (и, соответственно, более дорогого) продукта или услуги в процессе выполнения выбранного действия.

Предложенный набор потребностей наверняка не исчерпывает всего многообразия человеческих нужд, но в первом приближении позволяет учесть значимость основных благ в жизни человека.

Наиболее актуальная из потребностей определяется соотношением их величин, а возможность выполнения действия по удовлетворению этой потребности — состоянием запасов сил, продуктов, денег и терпения агента и условиями внешней среды. Каждое действие сопровождается расходом или пополнением запасов агента и, в определенных ситуациях, возникновением у него отрицательных или положительных эмоций. Эмоции и определяемый ими уровень удовлетворенности потреблением как оценки материального положения агента формируются у агентов в течение всего времени их «жизни», задаваемого

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

количеством тактов работы модели. Время в модели дискретно. Один такт работы модели соответствует одному часу реального времени. Полагается, что это время минимально необходимо для выполнения любого из действий агента.

Принципиальное устройство модели общества потребления представлено на рис. 1. На каждом такте производится увеличение базовых значений потребностей агентов, их сопоставление и выбор наиболее актуальной для каждого. При этом потребность в деньгах не имеет базового значения и рассматривается в модели лишь в виде реакции на необходимость удовлетворить другие потребности путем оплаты нужных агенту материальных благ. Затем производится оценка возможностей удовлетворения наиболее актуальной потребности внутренними запасами, за счет других агентов или общения с внешней средой, а также выполняются необходимые действия. Выполнение действия приводит к изменению состояния связанных с этим действием запасов агента, а удовлетворенная потребность возвращается к базовому значению. Стрелка 1 — сигнал к увеличению всех двенадцати потребностей. Выбор наиболее значимой из них осуществляется по формуле (3). Стрелка 2 указывает на то, что новое состояние агента является результатом его действия, выполненного за счет собственных

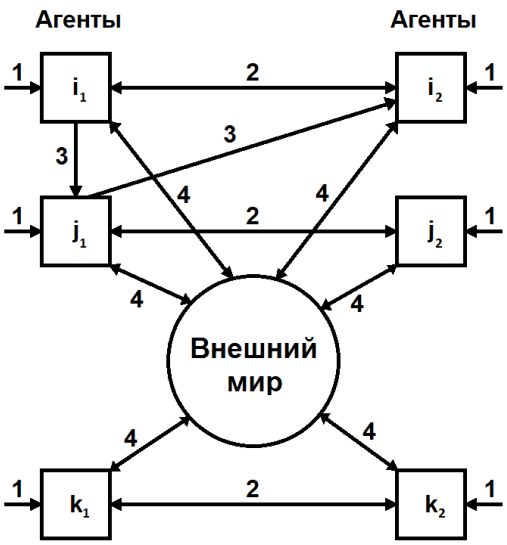


Рис. 1. Модель общества потребления.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

запасов, стрелка 3 — за счет запасов других агентов, стрелка 4 — за счет взаимодействия с внешней средой (работы, похода в магазин).

1.2. Актуализация потребностей нужды и выбор действия. В каждый такт модельного времени агент может удовлетворять только одну потребность и должен выбрать действие, соответствующее наиболее актуальной из них. Актуальность потребности для агента определяется ее величиной и выражается количественно в целых числах. Действие, отвечающее самой актуальной потребности, определяется как функция ее значимости (степени необходимости) для агента и времени:

$$A_i = \arg\max N_{ij}, \tag{3}$$

$$N_{ij}(S_{ij}, K_j, t_{ij}) = S_{ij} + K_j t_{ij}, \tag{4}$$

где A_i — номер действия, выбранного агентом i,

N_{ij} — потребность нужды i-го агента в j-ом благе,

S_{ij} — значимость, степень необходимости j-го блага (абсолютная) для i-го агента,

K_j — коэффициент суточного цикла,

t_{ij} — время, прошедшее с момента последнего удовлетворения потребности i-го агента в j-ом благе.

Коэффициент суточного цикла — это своего рода вес времени для различных потребностей, коэффициент приведения тактов в модели в соответствие с суточным режимом реальной жизни человека (величина K_j выбирается таким образом, чтобы актуализация основных потребностей обеспечивала нормальный

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

суточный цикл деятельности среднего агента: восемь часов сна, три приема пищи и т.п.).

Значимость *j*-го блага для *i*-го агента может принимать значения из диапазона $[min_j; max_j]$, где max_j — максимальная величина значимости блага *j*, причем мы (как и в [3]) полагаем, что шкала значимости симметрична относительно нуля: $min_j = -max_j$.

Если оказывается, что совпадают величины более чем одной потребности, то одна из них выбирается случайным образом. После осуществления действия производятся изменения переменных величин, в том числе величины удовлетворенной потребности, эмоционального состояния и запасов. Затем наступает следующий такт времени, в котором агент ведет себя, следуя тем же правилам.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Невозможность удовлетворить потребность нужды — выполнить нужное действие из-за отсутствия у агента необходимых запасов автоматически включает механизм последовательной актуализации потребностей, представленный на рис. 2 (на примере потребности в питании). Когда наибольшей из потребностей у агента

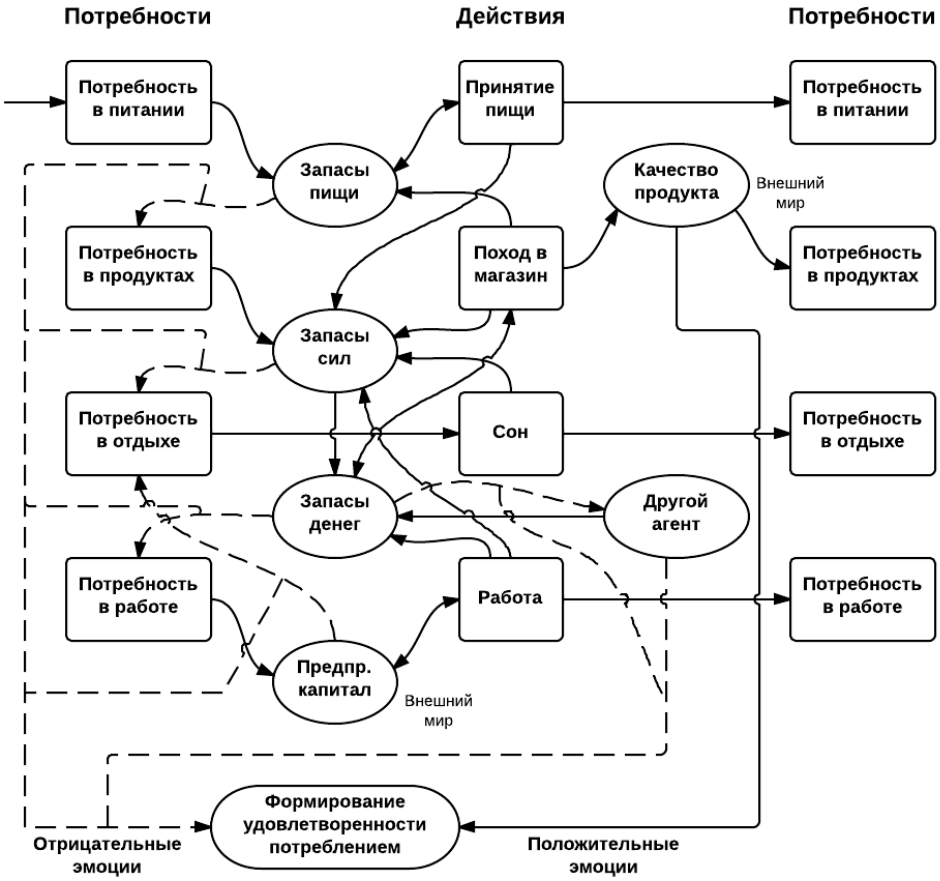


Рис. 2. Последовательная актуализация потребностей.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

становится потребность в питании, он проверяет свои запасы продовольствия. Если их достаточно для разового приема пищи, то выполняется соответствующее действие. В противном случае на первое место выдвигается потребность в продуктах. Но прежде, чем отправиться в магазин, агент проверяет запасы сил и денег: если их хватает, он отправляется за покупками, если нет – активизируются потребность в отдыхе и агент «идет спать», или потребность в деньгах — и он или находит их у другого агента (в реальной жизни — близкого родственника), или «идет работать». Действие «сон» выполняется безусловно, а перед выполнением действия «работа» проверяется ее доступность (действие выполняется, если работа доступна — во внешнем мире есть средства для ее оплаты). При этом потребность в питании остается у агента самой актуальной потребностью и на следующем такте работы модели, а уровень удовлетворенности потреблением (полнота удовлетворения потребностей) соответственно уменьшается каждый раз, когда агент не может выполнить требуемое действие. Подобным образом актуализируются и удовлетворяются все потребности за исключением потребностей в общении и лечении.

На рис. 3 представлена схема удовлетворения потребности в общении. Ее принципиальным отличием от схем удовлетворения всех остальных потребностей является обращение агента к внешней среде в поисках компании. Поскольку число агентов в модели ограничено возможностями компьютера, компания формируется

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

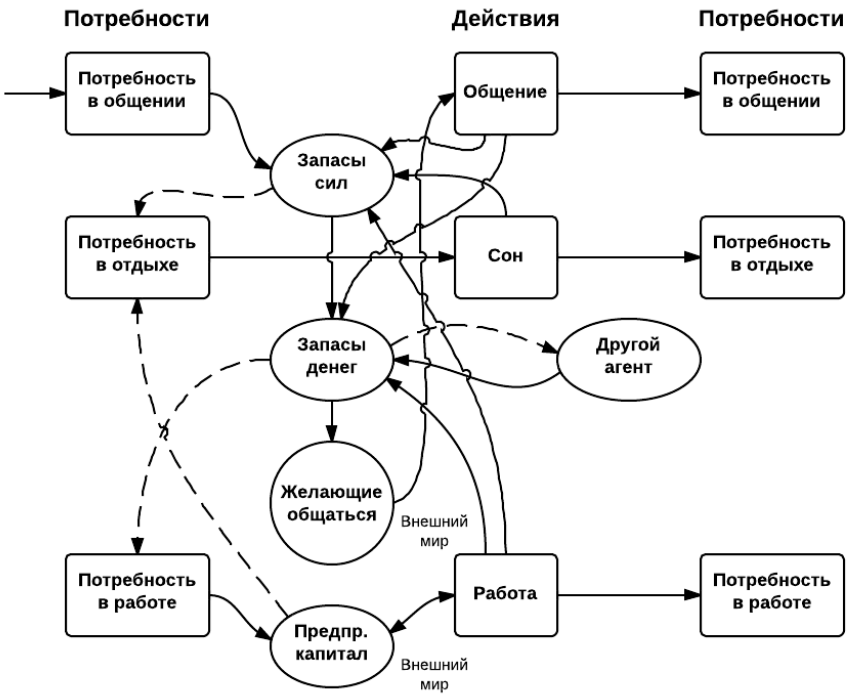


Рис. 3. Схема удовлетворения потребности в общении.

случайным образом с учетом фактической удовлетворенности общением в моделируемом периоде.

Схема удовлетворения потребности в лечении представлена на рис. 4. При возникновении потребности в лечении, прежде всего, оценивается уровень заболевания. Если потребность возникла впервые, лечение ограничивается приемом лекарств, и агент действует по общей схеме. Если потребность в лечении возникла не в первый раз, она рассматривается как потребность в обращении к врачу. В этом случае агент проверяет наличие денег на оплату похода в платную поликлинику. При наличии необходимой суммы потребность в лечении удовлетворяется платным специалистом, при нехватке средств агент обращается в

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

государственную поликлинику, где ожидает приема к врачу. Время ожидания определяется соотношением реальных затрат на оказание медицинской помощи и действующими нормативами государственного финансирования одного посещения врача и сказывается на удовлетворенности материальным положением.

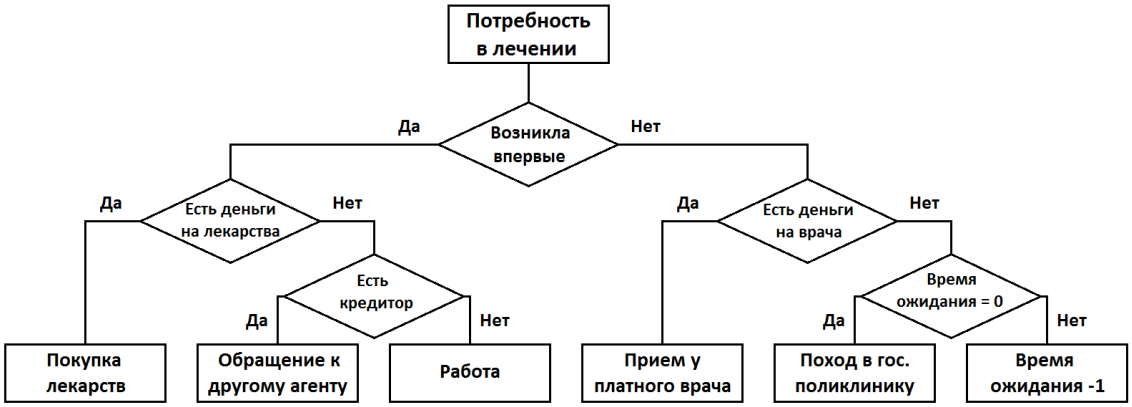


Рис. 4. Схема удовлетворения потребности в лечении.

1.3. Удовлетворенность материальным положением. Эмоциональное состояние (удовлетворение потреблением) каждого агента формируется в модели в процессе актуализации и удовлетворения его потребностей нужды и роста. Удовлетворенность материальным положением есть функция частоты возникновения за весь цикл работы модели несоответствий наиболее актуальным потребностям имеющихся ресурсов и условий внешней среды (полноты удовлетворения потребностей) и важности невыполненного действия для жизнедеятельности человека:

$$M_i = (T - \sum_l E_{il})/T, \qquad (5)$$

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

$$E_{il} = W_k \theta(P_{ikl}), k = A_i = \arg\max N_{ij}, \quad (6)$$

$$P_{ikl} = C_{kl}(R'_k - R_{il}), \quad (7)$$

где M_i — удовлетворенность материальным положением i-го агента, выраженная в процентах,

T — длительность цикла работы модели,

E_{il} — эмоция i-го агента на l-ом такте,

W_k — «вес потребности» в k-ом благе (его ценность для агента),

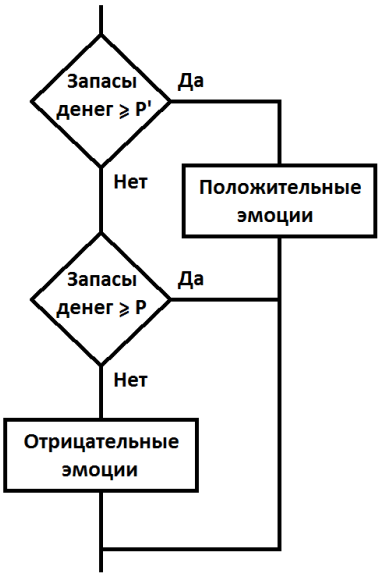
$\theta(P_{ikl})$ — функция Хевисайда:

$$\theta(P_{ikl}) = \begin{cases} 0, \text{если } P_{ikl} < 0, \\ 1, \text{если } P_{ikl} \geq 0, \end{cases} \quad (8)$$

P_{ikl} — разность между фактическими запасами i-го агента на l-ом такте R_{il} и требующимся для удовлетворения потребности к k-ому благу количеством ресурсов R'_k, умноженная на коэффициент «доброжелательности внешней среды» C_{kl}:

$$C_{kl} = \begin{cases} 0, \text{если условия внешнего мира на } l - \text{ом такте не} \\ \text{позволяют удовлетворить потребность в } k - \text{ом благе}, \\ 1, \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (9)$$

Причем для всех потребностей, кроме потребности в работе и в общении, коэффициент C_{ki} всегда равен 1, т.е. внешняя среда прямо влияет на возможность выполнить агентом желаемое действие



только через его денежный эквивалент. В случае с работой C_{kl} зависит от наличия во внешнем мире средств для ее оплаты (1 — средства есть, 0 — средств нет), а в случае с общением — от наличия компании для общения (1 — компания найдена, 0 — компания не найдена).

Возможность приобрести более качественный товар или услугу (по более высокой цене) и таким образом удовлетворить потребность роста рождает у агента положительные эмоции. На рис. 5 представлена схема удовлетворения потребности роста через оплату товаров или услуг. Если запасы денег *i*-го агента на *l*-ом такте позволяют купить товар или услугу по более высокой цене *P'*, то он получает положительные эмоции, что в модели равносильно уменьшению его отрицательных эмоций $\sum_l E_{il}$. В противном случае, он пробует купить товар по обычной цене и в случае неудачи получает отрицательные эмоции.

Рис. 5. Схема изменения эмоционального состояния при удовлетворении потребности роста.

На удовлетворенность агентов материальным положением также влияют голод, усталость и ожидание начала лечения.

1.4. Внешний мир. Внешний мир дает агенту возможности получить желаемые блага, некоторым образом ограничивая доступ к ним.

1. Устанавливает два значения денежного эквивалента всем действиям агента (за исключением сна, лечения и приема пищи), соответствующих обычному и повышенному качеству удовлетворения потребности, а также способы доведения доходов до агента. Стоимость «обычного» удовлетворения потребности определяется принятым в моделируемом периоде прожиточным минимумом и

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

стоимостью продуктовой корзины, стоимость более качественного – их удвоенной величине. Можно спорить о справедливости применения значений прожиточного минимума и стоимости продуктовой корзины для оценок качества жизни - как реальной, так и в модели, но в настоящее время они являются единственной объективной общедоступной характеристикой экономического положения населения страны. Стоимостью продуктовой корзины определяется цена разового приема пищи, а величиной прожиточного минимума — разовая величина периодических расходов. При этом полагается, что на удовлетворение потребностей в жилье, одежде и предметах обихода (периодические расходы) направляется 80% разности величин прожиточного минимума и продуктовой корзины, а на разовое удовлетворение потребностей в общении, самореализации, комфортном быте, гигиенических процедурах и лечении — оставшиеся 20%.

Модель предусматривает ежемесячную выдачу агентам установленных доходов — заработной платы, пенсии, пособия по безработице и стипендии. Для расчетов с агентом за сверхурочную работу месячная заработная плата трансформируется в стоимость часа работы агента:

2. Предоставляет агенту возможность общения как случайную величину с вероятностью, определяемой фактической удовлетворенностью общением в моделируемом периоде.

3. Устанавливает величину разовых затрат на прием у платного врача (равную устоявшимся значениям) и время ожидания приема врачом государственной поликлиники. За время ожидания в модели принимается

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

отношение стоимости обращения к платному специалисту к нормативу финансирования одного посещения государственной поликлиники.

4. Обеспечивает формирование и представление в пользование агентам «предпринимательского капитала», т.е. некоторой суммы средств, обеспечивающей агентам возможность заработка сверх установленных нормативов оплаты труда. Предпринимательский капитал формируется из средств агентов при расчетах за более дорогие товары и услуги при удовлетворении потребности роста.

5. Заставляет агентов с низкими доходами экономно расходовать денежные средства, делая для них недоступным выполнение некоторых действий (например, обращение за медицинской помощью в платную поликлинику).

1.5. Объединение агентов в группы. Как показано в [9], схожие характеристики людей выливаются в схожее поведение и социальное самочувствие. В модели выделено четыре основных типа агентов (респондентов, участвующих в формировании оценки материального положения):

1. Взрослые работающие. Возраст от 18 до 60 лет, получают денежные доходы за свой труд, считаются готовыми работать в пределах биологического цикла столько, сколько необходимо для удовлетворения всех потребностей, имеют доступ к основному и право доступа к дополнительному заработку.

2. Взрослые неработающие (безработные). То же, что и работающие, но не имеющие доступа к заработку, существующие за счет пособий и других агентов.

3. Пенсионеры. Возраст – 60 лет и больше; получают денежные доходы вне связи с трудовой деятельностью и имеют ряд льгот (транспорт, услуги ЖКХ).

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

4. Студенческая молодежь. Возраст от 18 до 24 лет. Иждивенцы, живущие за счет родителей и не обремененные в связи с этим потребностями в продуктах, жилье, транспорте, средствах коммуникации, одежде и предметах обихода.

Полагается, что агенты всех типов, проживающие в сельской местности, имеют возможность частично удовлетворять свою потребность в пище за счет приусадебного участка, формируя продуктовые запасы без существенных затрат денежных средств. Возрастные характеристики агентов задаются через значимость их потребностей в благах. Считается, что пенсионеры по старости имеют повышенную потребность в лечении и общении (значимость потребностей для всей группы в «плюсовом» диапазоне), и пониженную потребность в одежде, предметах обихода и средствах коммуникации (значимость периодических расходов для всей группы в «минусовом» диапазоне).

2. Эксперименты с моделью.

2.1. Порядок проведения. Адекватность отображения моделью реальных процессов потребления материальных благ и формирования людьми оценки своего материального положения в зависимости от соотношения доходов и стандартов жизни может быть подтверждена (или опровергнута) схожестью фактических и модельных оценок, причем не только средних, но и распределением респондентов по шкале оценок внутри каждой из групп доходов. В связи с этим, важной частью эксперимента стало создание модельного сообщества, близкого по структуре к реальному. В основу было принято распределение населения в [1] по доходам, а

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

внутри групп доходов - по возрасту (18 – 24, 25 – 59, 60 и больше лет) и месту постоянного проживания (город/село) внутри возрастных групп (табл. 2).

Таблица 2

Распределение численности населения по доходам, возрасту и месту проживания, ESS

Доходы семьи, руб.	Численность городского/сельского населения в возрастной группе, чел.						Численность городского/сельского населения всего, чел.	
	до 24 лет		от 25 до 59 лет		от 60 лет			
	город	село	Город	село	город	село	город	село
менее 3000	9	7	45	57	90	52	144	116
от 3000 до 6000	41	25	174	110	184	90	399	225
от 25000 до 30000	13	0	34	0	3	0	50	0

Логика дальнейшего формирования состава групп может быть проиллюстрирована на примере группы населения с доходами семьи до трех тысяч рублей. Пятьдесят пять процентов группы составляют люди в возрасте 60 лет и старше. Исходя из граничного значения доходов и среднего размера пенсии в рассматриваемом периоде (2575 рублей) можно сделать вывод, что все это — пенсионеры (одинокие или имеющие иждивенцев). Сорок пять процентов группы составляет работоспособное население, причем вполне допустимо утверждение, что в ней практически нет иждивенцев, относящихся к студенческой молодежи (в бедных семьях молодежь вынуждена идти работать).

Пятьдесят пять процентов в составе группы представляют городское население, сорок пять – сельское.

Близкой по составу принята группа населения с доходами семьи в интервале от 3,0 до 6,0 тыс. рублей. Сорок четыре процента группы составляют люди от 60

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

лет и старше (по логике – семейные пары пенсионеров по старости или инвалидности), а остальные 56% — безработные и мало оплачиваемые работающие. Все остальные группы считаются состоящими из работающих (в том числе работающих пенсионеров) и студенческой молодежи.

Каждая группа состояла из двухсот агентов. С учетом ограничений, налагаемых имеющимися вычислительными мощностями, эксперимент осуществлялся пошагово, в каждом шаге участвовали 6 – 8 агентов. Значимость потребностей каждого агента задавалась случайным образом. Величины начальных запасов денежных средств и пищи в (приемах) задавалось с учетом принадлежности к определенной социальной группе и месту проживания.

При проведении эксперимента полагалось, что отнесение агентов к группам с доходами до 6,0 тысяч рублей дает им дополнительное свойство — экономность в расходовании средств. Реализация свойства обеспечивалась соответствующей настройкой внешнего мира, лишающего агента доступа к некоторым дорогостоящим благам ради лучшего удовлетворения бытовых (наиболее актуальных) потребностей.

Эксперимент проводился по трем группам доходов — менее 3000 рублей в месяц, от 3000 до 6000 рублей в месяц и от 25000 до 30000 рублей в месяц.

Параметры внешней среды, заданные в модели, представлены в табл. 3.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Таблица 3

Параметры внешней среды в модели

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра в 2006 году
1	Заработная плата	Переменная, от 2000 до 30000 руб./мес.
2	Пенсия по старости	Переменная, от 2000 до 6000 руб./мес.
3	Пособие по безработице	700 руб./мес.
4	Стипендия	1000 руб./мес.
5	Пенсия по инвалидности	Переменная, от 1000 до 3000 руб./мес.
6	Прожиточный минимум	3437 руб./мес.
7	Продуктовая корзина (в прожиточном минимуме)	1574 руб./мес.
8	Стоимость разовых действий (в прожиточном минимуме)	700 руб./мес.
9	Стоимость льгот пенсионерам в городе	1200 руб./мес.
10	Стоимость льгот пенсионерам в селе	500 руб./ мес.
11	Цена разовых действий: • релаксация • занятие хобби • общение с друзьями • уход за собой • работа по дому • лечение (покупка лекарств) • обращение к платному врачу • норматив финансирования посещения врача	 10 руб. 10 руб. 10 руб. 5 руб. 5 руб. 20 руб. 500 руб. 219 руб.

2.2. Результаты эксперимента. Удовлетворенность материальным положением (потреблением) модель оценивает через полноту удовлетворения потребностей (в процентах), и для сопоставления результатов моделирования с полученными в ходе опроса [1] проценты были переведены в баллы по схеме: оценка от 0 до 8,99% соответствует нулю баллов; от 9,0% до 17,99% одному баллу и т.д. Распределение оценок, полученных в ходе эксперимента с моделью, и фактических по материалам [1] представлено в табл. 4 и на рис. 6. Как видно из результатов эксперимента, модель дала достаточно близкие к фактическим средние значения оценок материального положения: 2,55 против 2,52 для доходов до 3000

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

рублей в месяц; 3,36 против 3,45 для доходов до 6000 рублей в месяц и 5,20 против 5,98 для доходов семьи до 30000 рублей в месяц. Близки к фактическим и кривые распределения модельных оценок материального положения в диапазонах низких доходов.

Так, в диапазоне доходов до 3000 тыс. рублей в месяц оценку в 3 и меньше баллов дали 74% агентов в модели и 71,5% респондентов при опросе [1]; в диапазоне доходов от 3000 до 6000 рублей в месяц оценку в 4 и меньше баллов дали 62,4% агентов в модели и 63,4% респондентов при опросе [1].

Таблица 4

Распределение респондентов (ESS и модельное) по шкале оценок внутри групп доходов

	Количество респондентов, % от общего числа										
Оценка / Доход, руб.	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
до 3000, модельная	15,3	15,7	26,4	16,6	12	2,8	6	4,2	0,5	0,5	0
до 3000, ESS	28,8	13,1	14,1	16,6	6,4	12,4	2,7	1,9	3,5	0,5	0
от 3000 до 6000, модельная	19,6	11,2	13,1	12,6	6,1	14,9	7,1	7,5	5,1	1,4	1,4
от 3000 до 6000, ESS	17,7	7,2	12	16,7	10,1	18,5	5,8	4,3	5,8	1,1	0,8
от 25000 до 30000, модельная	4	1	3	6	10	29	28	14	2	2	1
от 25000 до 30000, ESS	2	0	6	6	8	16	14	22	18	6	2

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

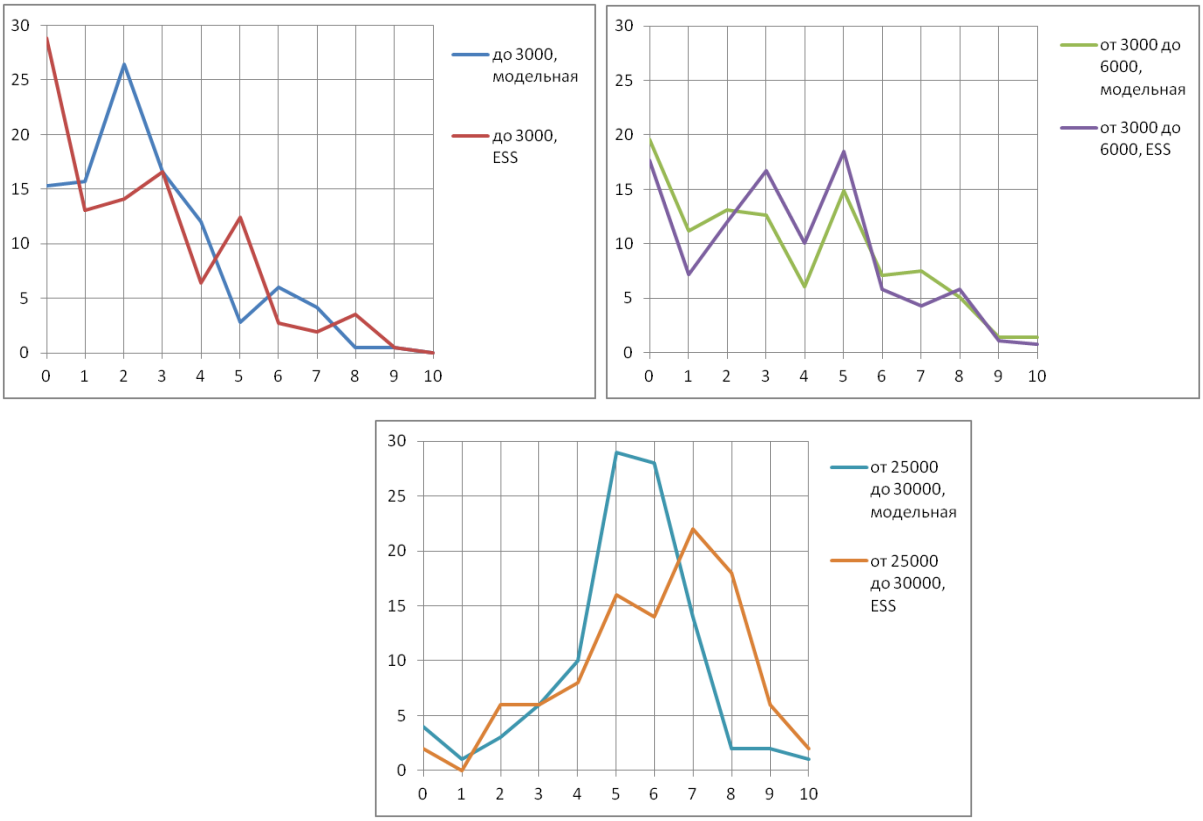


Рис. 6. Распределение респондентов (ESS и модельное) по шкале оценок внутри групп доходов (горизонтальная ось — оценка, вертикальная ось — процент от общего числа респондентов).

Вместе с тем, в диапазоне доходов от 25000 до 30000 рублей в месяц оценку в 6 и ниже баллов дали 81% агентов и лишь 52,0% респондентов при опросе. Столь существенный разброс можно объяснить как недооценкой в модели положительного эффекта от удовлетворения потребностей роста, использования возможностей приобретать более качественные продукты и услуги, так и завышенной ролью денег в формировании потребности роста.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

В целом результаты эксперимента можно признать весьма обнадеживающими, подтверждающими правильность выбранного подхода к моделированию и целесообразность дальнейшей работы над моделью.

Список источников информации

1. Результаты опросов ESS, данные третьей волны (2006 год). URL: http://ess-ru.ru (дата последнего обращения — 14.06.2014).
2. Семенов М.Ю., Ефремов Е.Г.(2003) Материальная удовлетворенность, Омский научный вестник, выпуск 23, №2, с. 207—210.
3. Истратов В.А. (2009) Агенто-ориентированная модель поведения человека в социально-экономической среде, Экономика и математические методы, , том 45, №1, с. 129 — 140.
4. Симонов П.В. (1982) Потребностно-информационная теория эмоций, Вопросы психологии, №6, с. 44 — 56.
5. Time use survey: Japan, 2006. Results on Time Use for Japan. URL: http://www.stat.go.jp/english/data/shakai/2006/pdf/jikan-a.pdf (дата обращения — 8.02.2015).
6. Time use survey: UK, 2005. Time spent on main activity by age group with rates of participation. URL: http://www.ons.gov.uk/ons/rel/lifestyles/time-use/2005-edition/time-use-survey-2005--how-we-spend-our-time.pdf (дата обращения — 8.02.2015).
7. Time use survey: USA, 2011. Time spent in primary activities. URL: http://www.bls.gov/news.release/atus.t01.htm (дата обращения — 8.02.2015).

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

8. Жириновский В.В., Юровский В.М. (1998) Новые деньги для России и мира, М.: издательский дом "Грааль".

9. Smajgl, A., Bohensky, E. (2011) Behaviour and space in agent-based Modeling: Poverty patterns in East Kalimantan, Indonesia, Environmental Modelling & Software, 2011, doi:10.1016/j.envsoft.2011.10.014.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

SUMMARY

Multiagent model of rent of agricultural land in a region

Red'ko V. G., Sohova Z. B.

The paper examines the economic community of land users and a municipal center, interacting in a region. A transparent way of renting of agricultural land, which is based on the principles of openness of relations between agents, is proposed. The choice of the particular land user is performed by means of a competitive selection among land users. The model of such selection is developed. The model is studied by means of computer simulation that demonstrates the performance of the model and presents the first results of research. The model shows the natural dynamics of capitals, resources and capacities of land users.

Subjective image of the environment and political choice of the agent: research of long-term dynamics of social distributive system

Mashkova A.L., Novikova E.V.

The article deals with agent-based modeling of political preferences of voters. Parties are split into two main groups:"right" and "left." Agent votes for the party, whose political program will enhance their standard of living. We introduce different criteria for comparing living standards of individual agent with its environment, taking into account the limitations of available information.

Development of modelling some aspects of regional policy in higher education services area

Islakaeva G.R.

The article aimed on searching ways to use agent-based approach of simulation to development instruments of modelling average and long time outcomes of regional policy in higher education services area. There are description of agent and functions of their behavior, a plan of simulation and expected outcomes.

Logistics centers in Russia. Simulation of commodity circulation in Russia.

Belousov F.A., Darsavilidze D.S.

The paper contains research of trade flows in the Russian Federation by using of imitation model, built in AnyLogic system. The results of the research show the shortage of warehousing storage areas in several cities, and the overall lack of custom terminals. The optimization of the Russian logistics requires 2-5 times increase increase storage areas in cities experiencing logistic problems. Construction of 40% additional custom terminals can reduce the excessive distance of imported goods by 100 kilometers. Almost all derived results coincide with estimations of professional specialists in Russian logistics.

Conception and test for the reasonableness of virtual agent.

Grishin E.A.

Discusses the possibility of expanding the concept of virtual reality, how the environment for habitation "kvazi-live" and "kvazi-reasonable" creatures. Special attention is paid to the definition of "the kvazi-reasonableness" these creatures. Proposed the non-formal description for the test to "the kvazi- reasonableness".

Also proposed the first version of programs implementing the concept "the kvazi-reasonableness" of virtual character in the reflexive models and multi-agent systems [1-3]. In particular, proposed basic software and hardware solutions to specific virtual character. Installed directions of developing for a virtual "society" in later versions of the software.

Agent-based modeling the movement of labor of industry town

Ramazanov R.R.

This article discusses issues related to the movement of labor of industry towns. Also represented in the agent-based model allowing to simulate the movement of labor in connection with the complete or partial reduction in staff forming enterprise.

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Posedness of an inverse problem of reconstructing the multidimensional function through neural network model in tax administration

Biryukov A.N.

The object of this paper is to consider a very deep penetration of the requirements of effective learning algorithms of neural networks in predprotsessornoy processing. Developed a method for assessing the adequacy of neural network models in the absence of any a priori information about the distribution of noise in the data. This method allowed us to control quality predprotsessornoy interconnected data processing and quality of their approximation to the neural network.

Prediction of financial situation assessment by population using the agent-based consumer society model

Kenzin T.R.

The article describes the agent-based consumer society model and the results of experiments with it. The consumer society is represented as a set of agents whose actions are determined by their individual physiological and social attitudes (needs) and outer world conditions. In the process of life every agent produces its own assessment of its material well-being level. The experiment was carried out using the economic parameters of the population of the Russian Federation in 2007 and its results are presented in comparison with the actual results of the survey of the population of the Russian Federation (ESS).

© Лаборатория искусственных обществ, www.artsoc.ru

Авторы статей

Редько Владимир Георгиевич	Доктор физико-математических наук ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН
Сохова Зарема Борисовна	ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН
Машкова Александра Леонидовна	К.т.н. доцент кафедры «Информационные системы», Приокский государственный университет
Новикова Екатерина Вячеславовна	Аспирант кафедры «Информационные системы», Приокский государственный университет
Ислакаева Гузель Разимовна	К.э.н. «Башкирский государственный университет», Институт экономики, финансов и бизнеса, лаборатория исследований социально-экономических проблем регионов
Белоусов Федор Анатольевич	Кандидат физико-математических наук ЦЭМИ РАН, НИУ ВШЭ
Дарсавилидзе Дмитрий Сандрович	Выпускник НИУ ВШЭ
Гришин Евгений Александрович	К.т.н., независимый исследователь и изобретатель
Рамазанов Руслан Раисович	Аспирант, Институт экономики, финансов и бизнеса Башкирского государственного университета
Бирюков Александр Николаевич	Д.э.н.; Профессор кафедры экономической теории и анализа, Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета.
Кензин Тимур Рустэмович	Выпускник кафедры системного анализа факультета «К» НИЯУ МИФИ. Разработчик программного обеспечения в ООО «Элемент»

Правила предоставления материалов

1. Содержание статьи должно соответствовать тематическим направлениям и научному уровню журнала, обладать определенной новизной и представлять интерес для широкого круга читателей журнала.

2. Объем рукописи не должен, как правило, превышать одного авторского листа, то есть 40000 знаков или 22-23 машинописных страниц, напечатанных через два интервала, включая таблицы и графический материал. В исключительных случаях по специальному решению редколлегии могут быть опубликованы статьи до полутора авторских листов.

3. Следует обязательно привести краткие сведения об авторах: фамилия, имя, отчество, ученая степень и звание, место работы, занимаемая должность; телефон для связи, почтовый и электронный адрес (e-mail).

4. Решение о публикации или отклонении авторских материалов принимается редколлегией.

5. Ссылки на цитируемые источники даются (в соответствии с рекомендациями ЮНЕСКО) указанием в круглых скобках авторов и года первого издания соответствующей работы, например: (Иванов, Петров и др., 1998) или (Методические рекомендации..., 1998).