УДК 519.61 DOI: 10.18698/2309-3684-2025-3-6784

Имитационная модель информационного взаимодействия в популяции агентов

© Н.В. Белотелов[1,2], Е.А. Буданов[2]

[1]Вычислительный центр им. А.А. Дородницына
ФИЦ ИУ РАН, Москва, 119333, Россия
[2]МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

В статье описывается имитационная модель информационного взаимодействия в популяции агентов. Целью разработки модели является создания инструмента для исследования актуальной проблемы – информационной перегруженности современного общества. Считается, что агенты получают из разных источников информацию, перерабатывают её и формируют «виртуальный образ мира» при этом они затрачивают энергию. В свою очередь энергию они получают в том случае, если сформированный текущий образ мира совпадает с реальным состоянием мира в узле, в котором в данный момент времени агент находится. В популяции агентов учитываются демографические процессы и процессы пространственной миграции. Считается, что все процессы используют энергию. Проводится серии имитационных экспериментов с целью оценки выживаемости популяции при различных интенсивностях потоков информации, а также при различных скоростях изменения мира. В частности показано, что большие интенсивности информации не позволяют агентам сформировать правильный «образ мир», что приводит к вымиранию популяцию.

Ключевые слова: *имитационная модель, информация, популяция агентов, энергия, демографический процесс, социальная сеть*

Введение. Одним из вызовов, с которым сталкивается современное общество, является производство огромного объема информации. Широкое распространение различных коммуникационных информационных технологий обрушивает на людей гигабайты разноплановой информации, что заставляет их тратить силы и время для осознания и упорядочивания (понимания) полученных сообщений в целях нахождения смыслов и принятия осознанных целенаправленных действий [1].

Как отмечал один из основоположников изучения данной проблемы Герберт Саймон, в информационно-насыщенном мире богатство информации создает дефицит внимания и порождает необходимость в ее аллокации между множеством конкурирующих источников [2]. Проблема информационной перегруженности в современном обществе крайне актуальна в настоящее время, когда благодаря интернету и другим источникам информационного воздействия, люди получают практически безграничный доступ к информации, правда, не всегда достоверной [3]. Эмпирические исследования, например,

работа, показывают, что информационная перегрузка непосредственно негативно влияет на качество и скорость принятия решений. [4] Информационная перегруженность современного человека приводит к различным нарушениям в адекватном восприятии окружающей действительности, нервным расстройствам, упрощенному, примитивному восприятию происходящих событий, в конечном итоге — к нерациональному поведению и ошибочным решениям. Это требует кардинально другого подхода к получению, распространению и обработке информации, однако люди и общество в целом ещё продолжают относиться к этим вопросам по-старому и постоянно потребляют всё большее и большее её количество, не имея времени и ментальных сил на её полноценный анализ и выстраивания адекватного образа мира.

Отражением этой проблемы является термин, появившейся несколько десятилетий назад, «информационная война» [5], который означает формирование и организацию информационных воздействий на противника таким образом, чтобы добиться нарушения самоидентификации его, с целью существенно снизить устойчивость его социальной системы.

Для анализа этой сложной, многоаспектной проблемы, характеризующейся нелинейностью взаимодействий и emergence-свойствами, нами выбран подход агентно-имитационного моделирования (АИМ) [6 - 10]. Данный подход даёт возможность, с одной стороны, дать математическую постановку задачи, а с другой — изучать взаимосвязь макроскопических процессов, касающихся всей социальной системы, с микроскопическими, определяющие поведение отдельных агентов, позволяющим проводить контролируемые вычислительные эксперименты над теоретическими моделями сложных социальных явлений [11].

Модельной формализации и анализу некоторых последствий процессов получения и обработки потоков информации с учетом информационной связанности социума посвящена данная работа. Она рассматривает человеческое общество как сложную систему со множеством эмерджентных свойств, таких как устойчивость, возникающих из простых микроуровневых взаимодействий адаптивных агентов. [9] Целью создания модели является изучение влияния распространения информации в социальной среде, связь между интенсивностью усвоения информации и превращения её в образ окружающего мира и соответствие этого образа реальным изменениям в окружающем мире.

Одним из важнейших элементов модельной схемы является рассмотрения понятия энергии. Считается, что она используется в процессах обработки информации, образовании сетевых коммуникационных структур, а также в процессах рождения и перемещения аген-

тов. Важным элементом модели является следующее допущение: энергия получается (теряется) агентом при сравнении знаний об окружающей среды с её реальным состоянием. В зависимости от интенсивности информационных потоков, скорости формирования образа мира, а также изменения мира агенты получают различное количество энергии. Разбалансировка процессов получения и затрат энергии может привести к вымиранию популяции. Именно эту ситуации в модели мы интерпретируем как потеря устойчивости социальной системы.

Основные принятые допущения модели. В модели выделяются следующие сущности: «мир», популяция агентов, энергия, «информация», «информационный шум» и «знания» агентов или «виртуальный образ мира», который формируется у агента в процессе обработки получаемой информации. Считается, что «мир», «виртуальный образ мира», «информация» является кортежом (вектором) размерности n каждая ячейка, которого соответствует своему типу информации. Помимо полезной информации, в модели присутствует бессодержательная информация, или информационный шум.

Данный тип информации формально кодируется аналогично «полезной», образуя дополнительные ячейки картеэа информации, но его обработка не приводит к формированию или изменению виртуального образа мира агента и, как следствие, соответствующие ячейки кортежей знаний и мира отсутствуют и считаются всегда равными нулю. Получение, фильтрация и попытка обработки агентом информационного шума проходят по тем же алгоритмам, что для «полезной» информации, с соответствующейй тратой энергии.

В каждой ячейке кортежа содержится некоторое неотрицательное действительное число, которое относится к соответствующему аспекту реального мира и его виртуального образа, которое количественно измеряет, соответственно информацию, знания (представления субъекта), а также реальное состояние мира в i – ом аспекте. Оно ограниченно сверху максимальным значением W . Такое упрощенное кодирование информации является крайне схематичным и упрощенным. Оно выбрано лишь как начальная схема и в дальнейшем планируется её уточнение.

Агенты популяции размножаются, погибают, получают и передают информацию, а также преобразуют полученную полезную информацию в знания. В этих процессах тратится энергия, которые агенты, как считается в модельной схеме, получают из окружающей среды в процессе сравнения текущего состояния мира с виртуальным образом мира. Кроме того, агенты могут перемещаться по пространству мира для получения большего количества энергии.

Математическая постановка задачи. В модели объект «мир» представлен в виде целочисленной решетки

$$\Omega = \bigcup (i, j), \text{ где } i = 1,...,N;\ j = 1,...,M,$$

разделяющей пространство.

В узлах решётки расположены кортежи, описывающие состояние мира в соответствующем ей квадрате пространства,

$$\overrightarrow{K_{i,j}^{t}} = \left(k_{i,j}^{1,t},...,k_{i,j}^{n,t}\right)$$

в момент времени t.

Агенты популяции

$$s_k^{\tau,t}; k = 1,...,Na(t),$$

где $Na(t)$ — численность популяции в момент времени t. (Далее нижний индекс k указывает на номер агента в популяции). Агент характеризуется следующими параметрами в момент времени t: положением в пространстве $x_k = (i_k, j_k)$, возрастом τ, количеством текущей, необработанной информации $\overrightarrow{I_k^{t,\tau}}$; текущим виртуальным «образом мира» или знаниями (также вектором) $\overrightarrow{V_k^{t,\tau}}$; способностью к обработки информации — $P_k^{\tau}(t)$; графом знакомств (связности) с другими агентами

$$N^t{}_k = \left(s_k^1, s_k^2, s_k^3, ..., s_k^p\right)$$

и текущим значением энергии $E_k(t)$. Также считается, что агент может совершать перемещение в один из ближайших узлов за один такт.

Динамика состояния объекта «мир» описывается некоторым эволюционным уравнением:

$$\overrightarrow{K_{i,j}^{t+1}} = \Phi(\overrightarrow{K_{i,j}^{t}}, L(t)),$$

где $L(t)$ обозначает множество агентов популяции.

В начале имитационного эксперимента считается, что мир нейтрален

$$K_{i,j}^{0} = 0.$$

Стационарные источники располагаются в предварительно заданный координатах пространства, а вся начальная популяция агентов равномерно распространена по пространству Ω.

Скорость изменения состояния мира $K_{i,j}^{t}$ определяется двумя факторами, собственной динамикой мира $Own(t, i, j)$ и влиянием агентов, находящихся в этой области, которое определяется суммой их знаний $\overrightarrow{V_k^{t,\tau}}$, умноженной на некоторый коэффициент β.

$$K_{i,j}^{t+\Delta t} = K_{i,j}^{t} + \beta \sum_{x_k^t \in \Omega_{i,j}} V_k^{t,\tau} + Own(t,i,j).$$

В систему инофрмация поступает извне через некоторое множество стационарных источников информации $\{S^m\}$ расположенных в узлах решетки $x_m = (i_m, j_m)$, которые транслируют определённый тип информации $\overrightarrow{I_m}$. Считается, что стационарный источник распространяет информацию в круге радиуса R_m и имеет интенсивность (силу влияния на агентов) $P^m(t)$, которая зависит от времени. Источники могут транслировать как полезную информацию, соответствующую некоторому аспекту мира, так и информационный шум.

Итоговое влияние источника m на агента k зависит от расстояния между источником и агентом $D_k^m = |x_m - x_k|$ и определяется выражением

$$Is_k^m(t) = \begin{cases} \dfrac{P^m(t)}{1+(D_k^m)^2}, & D_k^m < R^m \\ 0, & D_k^m \geq R^m \end{cases}$$

Объём информации, полученный агентом за один такт времени описывается уравнением

$$\overrightarrow{I_k^{t+\Delta t,\tau+\Delta t}} = \overrightarrow{I_k^{t,\tau}} + \sum_m \overrightarrow{Is_k^m(t)} + \overrightarrow{Ic_k(t)} - \overrightarrow{Iv_k(t)} - \overrightarrow{I\tau_k(t)},$$

где $\overrightarrow{Is_k(t)}$ — информации, получаемая агентом, из стационарных источников, $\overrightarrow{Ic_k(t)}$ — информация, получаемая по социальным связям, $\overrightarrow{I\tau_k(t)}$ — убыль информации вследствие забывания, $\overrightarrow{Iv_k(t)}$ — убыль информации из-за переработки её в знания.

Социальные связи моделируются в виде безмасштабной сети, что отражает реальные социальные структуры, где большее количество знакомых повышает вероятность познакомиться с кем-то ещё[10]. Процесс формирования безмасштабной сети в модели происходит с помощью модифицированного алгоритма Барабаши-Альберта, учитывающего не только предпочтительное соединение (preferential attachment), но и когнитивную близость агентов (гомофилию). Подобные гибридные механизмы формирования сетей являются предметом активного изучения в социальных науках [11].

Для функции сходства можно использовать разные метрики, в данной модели мы используем косинус угла между векторами знаний агентов с добавлением 1, необходимой для неотрицательности вероятности:

$$sim\left(s_i, s_j\right) = \frac{\left(\overrightarrow{V_i^{t,\tau}}, \overrightarrow{V_j^{t,\tau}}\right)}{\left|\overrightarrow{V_i^{t,\tau}}\right|\left|\overrightarrow{V_j^{t,\tau}}\right|} + 1,$$

где $(\ ,\ )$ — обозначает стандартное скалярное произведение, $|\ |$ — стандартная евклидова метрика.

Тогда можно ввести вероятность связи агента $\mathrm{s_j}$ с агентом $\mathrm{s_j}$

$$\mathrm{P}_k\left(\mathrm{s_j}\right) = \frac{\mathrm{N}\left(\mathrm{s_j}\right)}{\mathrm{C}}\ \mathrm{sim}\left(\mathrm{s}_k,\ \mathrm{s_j}\right),$$

где $\mathrm{N}\left(\mathrm{s_j}\right)$ количество социальных связей агента $\mathrm{a_j}$, C — общее количество социальных связей в системе (считается, что вследствии симметрии число связей между двумя агентами равно двум).

Информация, получаемая по социальным связям определяется как сумма информации, полученной его соседями, умноженная на некоторый параметр

$$\overrightarrow{Ic_k\left(t\right)} = \sum_{s_p^{\tau,t} \in N^t{}_k} \alpha * \overrightarrow{I_p^{t,\tau}},$$

где $\alpha \in (0,1)$ — параметр, отвечающий за силу влияния социальной сети в модели.

После получения информации агент перерабатывает некоторую её часть в знание. Процесс переработки устроен так, что агенту сложнее обработать разнотипную информацию, чем сравнимый объём однотипной. Общий объём информации, которую агент переведёт в знание ограничен его способностью к её обработке $P_k^{\ \tau}\left(t\right)$.

Алгоритм преобразования информации в знание обрабатывает кортеж информации итерационно, начиная с самой заполненной ячейки. Если сумма уже обработанной информации и обрабатываемой на данном этапе меньше, чем способность агента, то вся информация из соответствующей ячейки переходит в образ мира агента. В противном случае только часть, не превышающая его способности к обработке информации.

А именно:

если

$$\sum\nolimits_{j=1}^{m} \gamma_j I_k^{j,t,\tau} \le P_k^{\tau}(t),$$

то

$$\begin{cases} V_k^{m,\mathrm{t}+\Delta\mathrm{t},\tau} = V_k^{m,t,\tau} + I_k^{m,t,\tau}, \\ I_k^{m,\mathrm{t}+\Delta\mathrm{t},\tau} = 0, \end{cases}$$

иначе

$$\begin{cases} V_k^{m,\mathrm{t}+\Delta\mathrm{t},\tau} = V_k^{m,t,\tau} + \sum_{j=1}^{m-1} \gamma_j I_k^{j,t,\tau} - P_k^{\tau}(t), \\ I_k^{m,\mathrm{t}+\Delta\mathrm{t},\tau} = I_k^{m,\mathrm{t},\tau} - (\sum_{j=1}^{m-1} \gamma_j I_k^{j,t,\tau} - P_k^{\tau}(t)), \end{cases}$$

где $\gamma_j = j$ — неубывающая последовательность коэффициентов, отвечающая за усложнение обработки сразу многих типов информации. Каждый новый тип, который агент пытается обработать за тот же такт требует больше энергии.

В случае, если агенту необходимо количество информации, превышающее его способности он может потратить энергию, чтобы улучшить свою способность до необходимого уровня. А именно, агент оценивает общий объём информации $\sum_{j=1}^{n} \gamma_j I_k^{j,t,\tau}$, которую он может переработать. Если этот объём превышает его способность

$$\sum_{j=1}^{m} \gamma_j I_k^{j,t,\tau} \le P_k^{\tau}(t),$$

агент может потратить энергию, чтобы увеличить свою способность, при этом его энергия всегда должна оставаться выше определённого уровня, необходимого для выживания:

$$\sum_{j=1}^{m} \gamma_j I_k^{j,t,\tau} \le P_k^{\tau}(t).$$

Для определения количества энергии, получаемой агентом $s_k^{\tau,t}$, находящимся в области мира $K_{i,j}^t$ вычисляется функция мира $W_{i,j}^t(s_k^{\tau,t})$, которая сравнивает текущий образ мира агента с реальным состоянием мира, а именно:

$$W_k^t(x_k) = f(\overrightarrow{K_{i,j}^t} - \overrightarrow{V_k^{t,\tau}}), x_k \in \Omega_{i,j},$$

где

$$f(\vec{a}) = \begin{cases} \sum K_{i,j}^t, \ \forall i : a^i \ge 0 \\ 0, \exists i : a^i < 0 \end{cases}.$$

Далее значение функции мира добавляется к энергии агента

$$E_k(t+\Delta t) = E_k(t) + W_{i,j}^t(s_k) - Loss_k(t),$$

где $Loss_k(t)$ — использованная агентом энергия за такт определяется выражением

$$Loss_k(t) = La(\tau_k) + \Delta P_k(t) + Lb_k(t) + Lm_k(t),$$

где $La(\tau_k)$ — затраты на базовый метаболизм агента, $\Delta P_k(t)$ — затраты на повышения способности к обучению, $Lm_k(t)$ — траты энергии на перемещения по пространству Ω, затраты на рождение новых агентов $Lb_k(t)$

В модели считается, что

$$La(\tau_k) = \xi\tau_k,$$

а

$$Lm_k(t) = \zeta\left|\Delta x_k(t)\right|,$$

где ξ и ζ некоторые константы.

При достижении агентом определённого порогового уровня энергии $E_k(t) \geq E_{birth}$ его энергия делится пополам

$$\left(Lb_k(t) = \begin{cases} \dfrac{E_k(t)}{2}, E_k(t) \geq E_{birth} \\ 0, E_k(t) < E_{birth} \end{cases} \right)$$

и появляется новый агент с таким же образом мира, как у родителя. Считается, что среди знакомых нового агента обязательно будет родитель.

Алгоритм перемещения агента работает следующим образом. Считается, что агенту известна информация о знакомых, а именно энергия, полученная ими за предыдущий такт, их координаты и оценка сходства $sim\left(s_i, s_j\right)$.

Имея информацию о состоянии мира в своей окрестности, агент ищет точку, находясь в которой он получит наибольшее количество энергии после проверки миром. Окрестность

$$O(x_k) = (i_k + a\Delta i,\ j_k + b\Delta j),$$

где $a = -d, ..., d;\ j = d, ..., d$ определяется условиями

$$\begin{cases} x_{o\max k} = \arg\max\limits_{x_o \in O(x_k)}(W_k^t(x_o))) \\ E_{o\max k} = W_k^t(x_{o\max k}) \end{cases}.$$

Далее, имея информацию от соседей, агент сравнивает энергию, полученную ими за предыдущий такт. Отдельно учитывается затрата энергии на перемещение к текущим координатам соседа, пропорциональная расстоянию до него. А именно вычисляются величины

$$\begin{cases} ind = \arg\max\limits_{j \in N^t_k} (\mathrm{sim}\left(\mathrm{s}_k,\ \mathrm{s}_j\right) E_j^{t-1} - \left|x_k - x_j\right|), \\ E_{n\max k} = \max\limits_{j \in N^t_k} (\mathrm{sim}\left(\mathrm{s}_k,\ \mathrm{s}_j\right) E_j^{t-1} - \left|x_k - x_j\right|), \\ x_{n\max k} = x_{ind}. \end{cases}$$

После этого агент изменяет свои координаты на предположительно наилучшие которые определяются формулами:.

$$x_k(t+\Delta t) = \begin{cases} x_k(t) + \dfrac{x_{o\max k}}{\left|x_{o\max k}\right|} sp_k, E_{o\max k} \geq E_{n\max k}, \\ x_k(t) + \dfrac{x_{n\max k}}{\left|x_{n\max k}\right|} sp_k, E_{n\max k} > E_{o\max k}. \end{cases}$$

Численное исследование модели. Имитационные эксперименты. Для исследования влияния ключевых параметров информационной среды на устойчивость социальной системы была разработана компьютерная реализация описанной выше модели и проведена серия вычислительных экспериментов.

Стационарные источники информации расположены по 4 углам пространства 100 на 100, в центре расположен пятый источник информационного шума. В начале каждого эксперимента начальная популяция агентов, равная сотни случайным образом равномерно распределяется по пространству. Эксперимент завершается либо по прошествии определённого числа тактов, либо при достижении популяции определённого порога.

Исследуемые факторы:

- интенсивность информационных потоков: суммарный объем информации, поступающей в систему от стационарных источников;
- скорость изменения "мира": динамика, с которой изменяется объективное состояние окружающей среды;
- связность социальной сети: среднее количество социальных связей на одного агента, определяющее интенсивность обмена информацией между агентами;
- интенсивность информационного шума: объем шумовой информации, поступающей в систему от стационарных источников и через социальные связи. На его обработку агенты тратят энергию наравне с остальными типами, но никаких полезных знаний при этом не получают.

Основная цель экспериментов – выявить существование оптимальный диапазон значений информационной интенсивности, где популяция способна наиболее эффективно поддерживать свою жиз-

неспособность, а также влияние доли шумовой информации на положение и ширину оптимального диапазона информационной интенсивности. Предполагается, что рост доли шума будет требовать от агентов больших энергозатрат на фильтрацию и обработку данных, сужая зону устойчивости и смещая её в сторону бóльших значений общей интенсивности. Отклонение от этого интервала как в сторону недостатка, так и избытка информации, а также влияние скорости изменения мира и социальной связности предположительно сужают этот интервал или смещают его границы, снижая устойчивость системы

Вероятность выживания популяции после определённого фиксированного количества временных тактов считается показателем благоприятности определённых условий. Для каждой комбинации параметров проводилось множество прогонов модели, после чего вероятность выживания вычисляется как количество попыток, в которых популяция агентов превышает начальную, делённое на общее количество прогонов. Зависимость вероятности от пар параметров визуализирована на тепловых картах (Рис. 1-4), что позволяет наглядно выявить зоны благоприятных и неблагоприятных условий. Общие фиксированные параметры для всех экспериментов представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Общие фиксированные параметры модели

Параметр	Обозначение в модели	Значение	Комментарий
Размер пространства	$x_{\max} \times y_{\max}$	100 x 100	Решетка
Начальный размер популяции	Na(t)	100 агентов	Случайным образом равномерно распределяется по миру
Количество источников информации	m	5	4 источника полезной информации и одни шумовой
Размерность вектора знаний/мира	n	5	Размерность кортежа, последняя ячейка для шума
Радиус влияния источника	R^m	90	
Начальная способность к обработке информации	$P_k^r(0)$	3000	
Начальный уровень энергии агента	$E_k(0)$	10000	
Порог энергии для размножения	E_{birth}	15000	
Радиус обзора агента	d_k	10	Для поиска лучшей позиции
Базовая скорость перемещения	sp_k	1	

Начнем с крайне благоприятного случая: социальная система существует в мире без информационного шума. Мы исследуем два фундаментальных параметра: насколько быстро меняется мир и насколько интенсивен информационный поток.

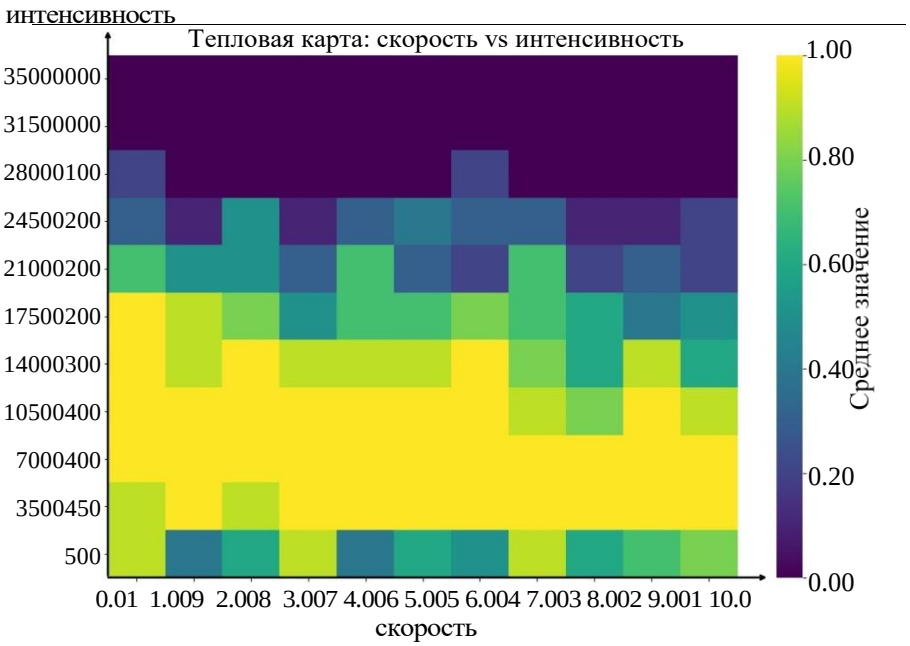

Рис. 1. Тепловая карта, показывающая вероятность выживания популяции при различной интенсивности информационных потоков (ось абсцисс) и скорости изменения «мира» (ось ординат). При фиксированной связности популяции равной 4, информационный шум отсутствует

На тепловой карте явно видно, что вероятность вырождения понижается как при избытке, так и при недостатке информации. Это случается либо из-за нехватки информации для приобретения адекватного миру количества знаний, либо из-за избытка информации, приводящему к информационной перегрузке, опять же неспособности выработать адекватные знания. При этом скорость изменения мира является негативным фактором для агентов. Сочетание избыточной информации с высокой скоростью изменения среды приводит к неизбежному вымиранию.

Но в обществе информация распространяется не только напрямую из источников, но также через социальные связи. Как структура социальной сети меняет обнаруженный нами баланс?

На оси абсцисс число связности популяции означает среднее количество знакомы одного агента. По тепловой карте видно, что высокая связность помогает распространению информации, что может как помочь выжить при её нехватке), так и привести к существенному избытку информации и, как следствие вымиранию. Этот параметр

является настолько влиятельным, что при высоких значениях повышает риск вымирания даже при высоких значениях.

До сих пор мы имели дело только с полезной информацией. Однако в реальном мире значительную ее часть составляет информационный шум — данные, не несущие полезной смысловой нагрузки. Как его наличие смещает зону устойчивости?

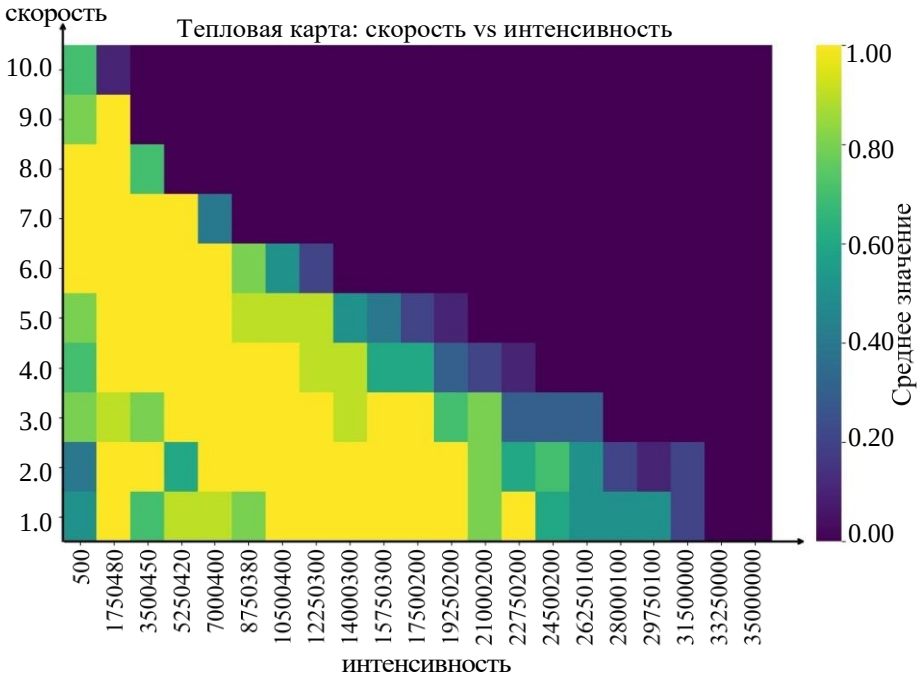

Рис. 2. Тепловая карта, показывающая вероятность выживания популяции при различной интенсивности информационных потоков скоростях (ось ординат) и связности популяции (ось абсцисс). При фиксированной скорости изменения «мира» равной 0.3, информационный шум отсутствует

Когда мы вводим шум, равный по интенсивности полезному сигналу, зона жизнеспособности резко сужается и смещается, особенно в зоне большой информационной нагрузки. При этом можно заметить даже некоторое улучшение в зоне низкой интенсивности и высокой социальной связности. Вероятно, это связано с тем, что социальная сеть берёт на себя роль «фильтра», поскольку агенты, менее подвергшиеся влиянию шума более успешны и, как следствие, вероятнее займут более значимое место в социальной сети, что позволит им дальше распространять полезную информацию.

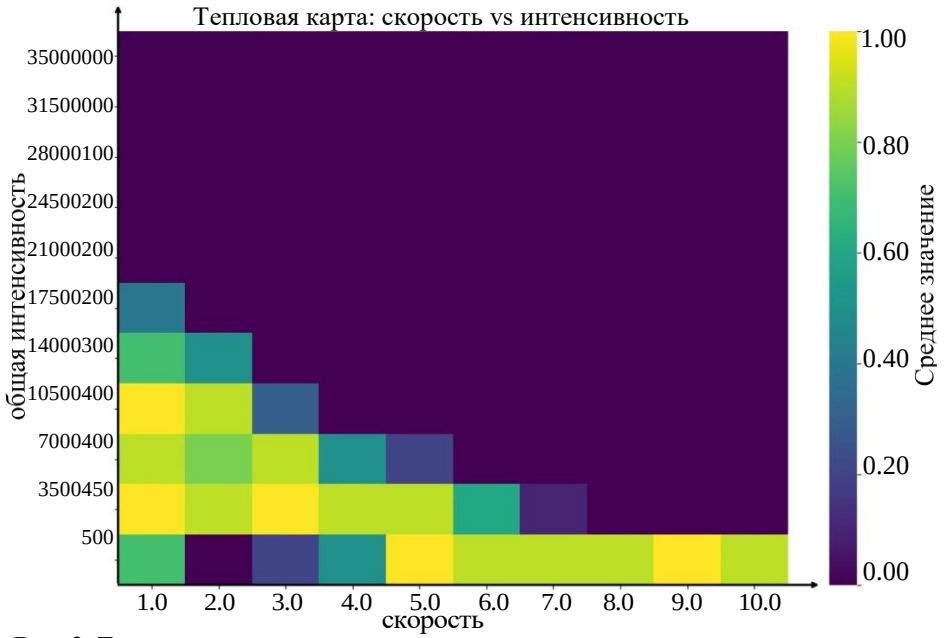

Рис. 3. Тепловая карта, показывающая вероятность выживания популяции при различной интенсивности информационных потоков скоростях и связности популяции. При фиксированной скорости изменения «мира» равной 0.3, информационный шум присутствует и его интенсивность равна интенсивности полезной информации

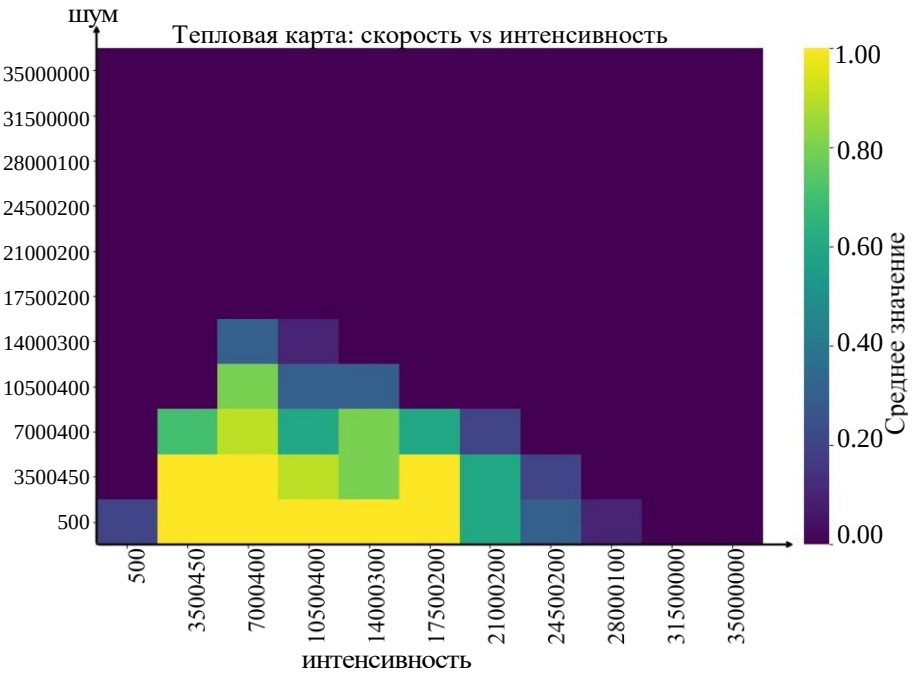

Рис. 4. Тепловая карта, показывающая вероятность выживания популяции при различной интенсивности информационных и шумовых потоков при фиксированных скорости изменения «мира» равной 0.3 и связности популяции равной 4

Последняя карта помогает исследовать взаимодействие шумовой и полезной информации. Заметно, что после определённого уровня шума никакое количество полезной информации не помогае популяции. Также выделяется самая стабильная зона, влияние на которую шумовой информации меньше, чем на прочие.

Таким образом, наши эксперименты выстраиваются в единую картину. Устойчивость системы — это не просто функция одного параметра, а динамический компромисс (trade-off). Скорость изменения среды задает необходимый минимум обучаемости. Социальная связность выступает усилителем, который может как помочь системе справиться с дефицитом, так и усугубить перегрузку. Наконец, информационный шум дестабилизирует, сужая диапазон параметров, при котором возможно выживание. Это объясняет, почему в эпоху цифровой экономики и соцсетей (высокая связность + высокий шум) проблемы ментального здоровья и принятия решений выходят на первый план. Особенно заметна трудность адаптации к информационному шуму, если обратить внимание на значительное понижение средней вероятности выживания популяции, при его введении в систему (таблица 2).

Таблица 2

Сводка экспериментов

№ эксперимента	Интенсивность (I)	Скорость мира (own)	Связность (k)	Интенсивность шума (Noise)	Средняя вероятность выживания
1	[500.0, 35000000.0]	[0.01, 10]	4 (фикс.)	0 (фикс.)	0.533
2	[500.0, 35000000.0]	0.3 (фикс.)	[1, 10]	0 (фикс.)	0.367
3	[500.0, 35000000.0]	0.3 (фикс.)	[1, 10]	[500.0, 35000000.0] (=I)	0.177
4	[500.0, 35000000.0]	0.3 (фикс.)	4 (фикс.)	[500.0, 35000000.0]	0.143

Заключение. Обсуждение полученных результатов и сопоставление их с ранее опубликованными. Проведенное исследование на основе агентной модели позволило выявить ключевые факторы, определяющие устойчивость социальных систем в условиях интенсивных информационных потоков и динамично изменяющейся среды.

Основные результаты работы сводятся к следующему:

Существует оптимальный диапазон интенсивности информационных потоков, обеспечивающий максимальную жизнеспособность

популяции. Отклонение от этого диапазона — как в сторону дефицита информации, препятствующего формированию адекватной картины мира, так и в сторону избытка, ведущего к когнитивной перегрузке и истощению энергетических ресурсов агентов, — приводит к снижению устойчивости системы и вымиранию популяции. Этот вывод перекликается с современными исследованиями последствий информационной перегрузки в цифровую эпоху [3 - 15].

Скорость изменения внешней среды является мощным дестабилизирующим фактором. Высокие темпы изменений требуют постоянной и энергозатратной адаптации знаний агентов. Наихудший сценарий реализуется при сочетании высокой скорости изменения среды с избыточным информационным потоком, что неминуемо ведет к коллапсу системы.

Структура социальных связей играет двойственную (амбивалентную) роль. Высокая связность популяции способствует эффективному распространению информации, что благоприятно в условиях ее недостатка. Это эмпирическим данным о важности социальных сетей для доступа к информации и социальному капиталу [14]. Однако при избыточных потоках та же высокая связность усугубляет перегрузку, ускоряя распространение нерелевантных знаний и снижая общую устойчивость системы. Подобный двойственный эффект свойств сети, позволяющих значительно быстрее распространяться информации, наблюдался и в других контекстах, например, при исследовании слабых связей, связывающих обширные территории [16].

Наличие информационного шума сужает оптимальный диапазон информационной интенсивности и смещает его в сторону меньших значений, вынуждая агентов тратить дополнительные ресурсы на фильтрацию и обработку бесполезных данных. Этот результат является важным вкладом в понимание воздействия дезинформации и «информационного шума» на общество [17], особенно в свете недавних работ, показавших, что ложная информация может распространяться дальше и быстрее истинной [18].

Таким образом, устойчивость социальной системы определяется балансом между тремя критическими параметрами: объемом поступающей информации, скоростью ее устаревания и пропускной способностью социальной сети для ее обработки и распространения. Нарушение этого баланса ведет к энергетическому истощению агентов и, как следствие, к системному кризису.

Перспективы дальнейших исследований видятся в развитии предложенной модели по следующим направлениям: усложнение представления информации, введение разнородных агентов с различными стратегиями поведения ([19]), моделирование целенаправленной дезинформации ([14, 15]), а также валидация параметров модели на основе данных социологических и психологических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Клингберг Т. *Перегруженный мозг. Информационный поток и пределы рабочей памяти*. Москва, ЛомоносовЪ, 2010, 208 с.

[2] Simon H.A. Designing Organizations for an Information-Rich World. *Computers, Communication, and the Public Interest. Baltimore, MD: The Johns Hopkins Press*, 1971, pp. 37–72.

[3] Roetzel P.G. Information overload in the information age: a review of the literature from business administration, business psychology, and related disciplines with a bibliometric approach and framework development. *Business Research*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 479–522.

[4] Speier C., Valacich J.S., Vessey I. The influence of task interruption on individual decision making: An information overload perspective. *Decision Sciences*, 1999, vol. 30, no. 2, pp. 337–360.

[5] Почепцов Г.Г. *Информационные войны*. Москва, Рефл-бук, Ваклер, 2000, 576 с.

[6] Bonabeau E. Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2002, vol. 99, suppl. 3, pp. 7280–7287.

[7] Macy M.W., Willer R. From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling. *Annual Review of Sociology*, 2002, vol. 28, no. 1, pp. 143–166.

[8] Белотелов Н.В. Имитационная модель процессов миграции в странах с учетом образования. *Математическое моделирование и численные методы,* 2019, № 4 (24), с. 91-99.

[9] Белотелов Н.В, Павлов С.А. Агентная модель культурных взаимодействий на неметризуемых хаусдорфовых пространствах. *Математическое моделирование и численные методы*, 2021, № 3, с. 105–119.

[10] Белотелов Н.В., Бровко А.В. Агентная модель двух конкурирующих популяций с учетом их структурности. *Математическое моделирование и численные методы*, 2022, № 3, с. 71–83.

[11] Gilbert N., Troitzsch K.G. Simulation for the Social Scientist. 2nd ed. *Papers: Revista de sociologia*, vol. 80, 2006, pp. 283-306.

[12] Epstein J.M., Axtell R. *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. Washington, D.C.: Brookings Institution Press, 1996, 226 p.

[13] Barabási A.-L., Albert R. Emergence of scaling in random networks. *Science*, 1999, vol. 286, no. 5439, pp. 509–512.

[14] Jackson M.O. *Social and Economic Networks*. Princeton, Princeton University Press, 2008, 504 p.

[15] Eppler M.J., Mengis J. The Concept of Information Overload: A Review of Literature from Organization Science, Accounting, Marketing, MIS, and Related Disciplines. *The Information Society*, 2004, vol. 20, no. 5, pp. 325–344.

[16] Centola D., Macy M. Complex Contagions and the Weakness of Long Ties. *American Journal of Sociology*, 2007, vol. 113, no. 3, pp. 702–734.

[17] Bennett W.L., Livingston S. The disinformation order: Disruptive communication and the decline of democratic institutions. *European Journal of Communication*, 2018, vol. 33, no 2, pp. 122–139.

[18] Vosoughi S., Roy D., Aral S. The spread of true and false news online. *Science*, 2018, vol. 359, no. 6380, pp. 1146–1151.

[19] Gigerenzer G., Gaissmaier W. Heuristic Decision Making. *Annual Review of Psychology*, 2011, vol. 62, no. 1, pp. 451–482.

Статья поступила в редакцию 08.09.2025

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Белотелов Н.В., Буданов Е.А. Имитационная модель информационного взаимодействия в популяции агентов. *Математическое моделирование и численные методы*, 2025, № 3, с. 67–84.

Белотелов Николай Вадимович — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Вычислительного центра им. А.А. Дородницына РАН Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН, доцент кафедры «Вычислительная математика и математическая физика» МГТУ им. Н.Э.Баумана. e-mail: belotel@mail.ru

Буданов Егор Александрович — студент кафедры «Вычислительная математика и математическая физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана. e-mail: tujhrf2003@gmail.com

Simulation model of information interaction in a population of agents

© N.V.Belotelov[1,2], E.A.Budanov[2]

[1]Institution of Russian Academy of Sciences Dorodnicyn Computing Centre of RAS, Moscow, 119333, Russia

[2]Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

The article describes a simulation model of information interaction in a population of agents. The purpose of developing the model is to create a tool for researching an urgent problem – information overload in modern society. It is believed that agents receive information from various sources, process it and form a "virtual image of the world" while they spend energy. In turn, they receive energy if the formed current image of the world coincides with the actual state of the world in the node in which the agent is currently located. Demographic processes and spatial migration processes are taken into account in the agent population. It is believed that all processes use energy. A series of simulation experiments are conducted to assess the survival rate of the population at different information flow rates, as well as at different rates of world change. In particular, it is shown that high information intensities do not allow agents to form the correct "image of the world", which leads to the extinction of the population.

Keywords*: simulation model, information, population of agents, energy, demographic process, social network*

REFERENCES

[1] Klingberg T. *Peregruzhennyj mozg. Informacionnyj potok i predely rabochej pamyati* [Overloaded brain. Information flow and the limits of working memory]. Moscow, Lomonosov Publishing House, 2010, 208 p.

[2] Simon H.A. Designing Organizations for an Information-Rich World. *Computers, Communication, and the Public Interest. Baltimore, MD: The Johns Hopkins Press*, 1971, pp. 37–72.

[3] Roetzel P.G. Information overload in the information age: a review of the literature from business administration, business psychology, and related disciplines

with a bibliometric approach and framework development. *Business Research*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 479–522.

[4] Speier C., Valacich J.S., Vessey I. The influence of task interruption on individual decision making: An information overload perspective. *Decision Sciences*, 1999, vol. 30, no. 2, pp. 337–360.

[5] Pochepcov G.G. *Informacionnye vojny* [Information wars]. Moscow, Refl-buk, Vakler [Refl-book, Wakler], 2000, 576 p.

[6] Bonabeau E. Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2002, vol. 99, suppl. 3, pp. 7280–7287.

[7] Macy M.W., Willer R. From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling. *Annual Review of Sociology*, 2002, vol. 28, no. 1, pp. 143–166.

[8] Belotelov N.V. Simulation model of migration processes in countries taking into account the level of education. *Mathematical Modeling and Computational Methods*, 2019, no. 4 (24), pp. 91-99.

[9] Belotelov N.V., Pavlov S.A. An agent-based model of cultural interactions on unmetrizable Hausdorff spaces. *Mathematical Modeling and Computational Methods*, 2021, no. 3 (31), pp. 105-119.

[10] Belotelov N.V., Бровко А.В. Agent model of two competing populations taking into account their structurality. *Mathematical Modeling and Computational Methods*, 2022, no. 3, pp. 71–83.

[11] Gilbert N., Troitzsch K.G. Simulation for the Social Scientist. 2nd ed. *Papers: Revista de sociologia*, vol. 80, 2006, pp. 283-306.

[12] Epstein J.M., Axtell R. *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. Washington, D.C.: Brookings Institution Press, 1996, 226 p.

[13] Barabási A.-L., Albert R. Emergence of scaling in random networks. *Science*, 1999, vol. 286, no. 5439, pp. 509–512.

[14] Jackson M.O. *Social and Economic Networks*. Princeton, Princeton University Press, 2008, 504 p.

[15] Eppler M.J., Mengis J. The Concept of Information Overload: A Review of Literature from Organization Science, Accounting, Marketing, MIS, and Related Disciplines. *The Information Society*, 2004, vol. 20, no. 5, pp. 325–344.

[16] Centola D., Macy M. Complex Contagions and the Weakness of Long Ties. *American Journal of Sociology*, 2007, vol. 113, no. 3, pp. 702–734.

[17] Bennett W.L., Livingston S. The disinformation order: Disruptive communication and the decline of democratic institutions. *European Journal of Communication*, 2018, vol. 33, no 2, pp. 122–139.

[18] Vosoughi S., Roy D., Aral S. The spread of true and false news online. *Science*, 2018, vol. 359, no. 6380, pp. 1146–1151.

[19] Gigerenzer G., Gaissmaier W. Heuristic Decision Making. *Annual Review of Psychology*, 2011, vol. 62, no. 1, pp. 451–482.

Belotelov N.V., Cand. Sc. (Phys.-Math.), Senior Researcher, Institution of Russian Academy of Sciences Dorodnicyn Computing Centre of RAS, Associate Professor of the Department of Computational Mathematics and Mathematical Physics, Bauman Moscow State Technical University. e-mail: alexmol_2000@mail.ru

Budanov E.A., Student of Department of Computational Mathematics and Mathematical Physics, Bauman Moscow State Technical University. e-mail: tujhrf2003@gmail.com