

**Фиговский Олег Львович** — академик Европейской академии наук, президент Израильской Ассоциации Изобретателей.

**Пенский Олег Геннадьевич** — доктор технических наук, профессор по специальности «математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет».

**Oleg L. Figovsky** — Israeli Inventors Association.

**Oleg G. Pensky** — Perm State University.

## Роботы, цифровые двойники человека, модели диалектики социума и экономики

### Определения искусственного интеллекта

Современных роботов можно условно разделить на два основных типа: промышленные роботы и андроидные, человекоподобные роботы. Первые, как правило, используются на производстве, а вторые пока являются своеобразной дорогой игрушкой, имитирующей действия и поведение человека. Предполагается, что оба типа роботов снабжены искусственным интеллектом.

Для начала справка. Искусственный интеллект (ИИ) разные специалисты понимают по-разному. В частности, есть следующие определения искусственного интеллекта:

- научное направление, в рамках которого ставятся и решаются задачи аппаратного или про-

граммного моделирования тех видов человеческой деятельности, которые традиционно считаются интеллектуальными;

- свойство систем выполнять функции, которые традиционно считаются прерогативой человека. При этом интеллектуальная система — это техническая или программная система, способная решать задачи, традиционно считающиеся творческими, принадлежащие конкретной предметной области, знания о которой хранятся в памяти такой системы;

- направление в информатике и информационных технологиях, задачей которого является воссоздание с помощью вычислительных систем и иных искусственных устройств разумных рассуждений и действий;

- согласно определению Андреаса Каплана и Майкла Хенлейна, искусственный интеллект —

УДК 330.46

DOI: 10.33917/es-5.171.2020.58-67

Современные математические модели экономики практически не учитывают человеческий фактор при принятии управленческих решений и проведении их в жизнь. Поэтому в настоящее время особую актуальность приобретает создание математической теории общей психологии человека, диалектического развития социума и макроэкономики. В работе описываются основные результаты математического моделирования психологического поведения так называемых цифровых двойников, являющихся психологическими аналогами человека, приводятся формулировки теорем, описывающих опасности искусственного интеллекта для человека с точки зрения психологии, предлагаются общие модели диалектического развития виртуального мира цифровых двойников, социума и макроэкономики.

### Ключевые слова

Психология роботов, цифровой двойник человека, психологические характеристики, математические модели, диалектика, социум, макроэкономика.



это способность системы правильно интерпретировать внешние данные, извлекать уроки из таких данных и использовать полученные знания для достижения конкретных целей и задач при помощи гибкой адаптации.

Мы же под ИИ будем подразумевать все то, что под лейблом «искусственный интеллект» преподносят разработчики.

### **Роботы и зарубежные исследования психологии роботов**

В настоящее время в научной литературе и в жизни очень широко используется слово «робот». Однако, на наш взгляд, не всегда это понятие применяется правильно. Зачастую роботом называют устройство, которым управляет оператор.

Для однозначного понимания того, что же является роботом в аспекте дефиниций ИИ, дадим следующее определение робота: «Робот — это автомат, способный самостоятельно принимать решения».

В настоящее время одними из актуальных направлений исследования в робототехнике является создание персональных роботов. В 2018–2020 гг. их продажи, по прогнозам Международной федерации робототехники, будут составлять 10,5 млн единиц, что оценивается в 7,5 млрд долл. Таким образом, объем продаж вырастет на 40% по сравнению с 2017 г. Ожидается, что этот рынок будет значительно расти в течение следующих 20 лет.

Существует множество суждений, касающихся опасности или безопасности широкого внедре-

## **Robots, Digital Twins of People, Dialectical Models of Society and Economics**

Current mathematical models of economics practically do not take into account the human factor when making management decisions and applying them to practice. Therefore, the creation of a mathematical theory of general human psychology, the dialectical development of human society and macroeconomics are becoming particularly relevant at present. This paper describes the main results of the mathematical modeling of psychological behavior, so-called digital twins, which are psychological analogs of people. Theorems explaining the dangers of artificial intelligence for people from the mentality point of view are formulated. We propose general models of dialectical development of the virtual world for digital twins, human society and macroeconomics.

### *Keyword*

Robot psychology, digital twins of people, psychological characteristics, mathematical models, dialectics, human society, macroeconomics.

➤ По мере развития искусственного интеллекта людям будет оставаться все меньше работы, а значит, будет расти количество безработных, которые экономически не смогут конкурировать с машинами.

ния роботов в жизнь общества. Так, например, футуролог Рэй Курцвейл считает, что слияние человека с искусственным интеллектом (ИИ) принесет людям пользу и улучшит качество их жизни.

Но в массовом сознании существует и другое мнение. За последнее время ИИ развивается так быстро, что теперь не проходит и месяца без сообщений о прорывах в сфере ИИ. В самых разных областях человеческой деятельности компьютер все чаще начинает превосходить человека. И все чаще говорится о том, как ИИ повлияет на занятость людей. Не только дремучие обыватели, но и многоумные эксперты опасаются, что по мере развития искусственного интеллекта людям будет оставаться все меньше работы, а значит, будет расти количество безработных, которые экономически не смогут конкурировать с машинами.

Как правило, при высказывании прогнозов о вреде или пользе ИИ эксперты рассматривают лишь экономические угрозы человечеству, не затрагивая психологических аспектов.

Ю.А. Шарапов в своей работе [1] сделал краткий обзор существующих алгоритмов «психологии» эмоциональных роботов. Этот обзор приведен далее.

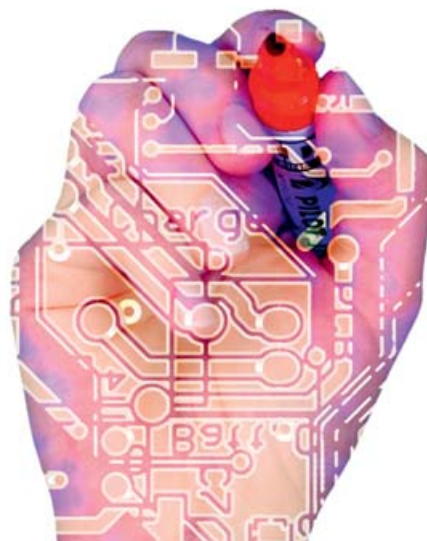
Создание персональных роботов идет по пути моделирования различных психических процессов человека, основными из которых на данный момент являются память и эмоции. Для того чтобы взаимодействовать с человеком, роботу необходимо накапливать информацию из окружающего мира. Такие ученые, как Пол Бакстер и Уилл Нил Браун [2], отмечают что память является необходимым условием для любой формы обучения. Однако если робот будет запоминать каждую деталь происходящих событий, со временем его память переполнится. Одно из решений, которое предлагают российские ученые, — математическое моделирование механизмов забывания и обобщения информации.

Луис Коррея и Антонио Абрау в своей работе [3] моделируют такие психические процессы, как утомление (пресыщение) и забывание. Жолт Кира и Рональд Аркин [4] используют механизм рассуждения на основе прецедентов (*case-based reasoning system*), описывают несколько стратегий определения прецедента, который удаляется при переполнении памяти. Сэнфорд Фридман и Джули Адамс [5] предлагают алгоритм забывания *ActSimple*, который с некоторыми модификациями объединяет в себе алгоритм АСТ-R [6], имитирующий стирание информации из памяти с течением времени, и алгоритм SIMPLE [7], имитирующий интерференцию памяти человека, то есть обобщение информации.

Ряд зарубежных ученых (Фади Альнаджар, Алекс Фрейтас, Ван Чин Хо, Мэй Ий Лим, Патрисия Варгас и др. [8–13]) моделируют процесс забывания на основе представления информации в виде иерархических структур данных. В течение жизни робота в иерархической памяти создаются вершины, отражающие события окружающего мира. Авторы работ задают метрики, которые определяют важность таких вершин и возможность их удаления при переполнении памяти.

Дитрих Дернер и Каролин Хилл отразили в модели робота [14] три составляющие: мотивацию, эмоции и когнитивные процессы. Мотивация робота представлена его потребностью выживания. Эмоции отвечают за механизм управления когнитивными процессами для удовлетворения потребностей. Мэй Ий Лим [15] приводит практическую реализацию робота-экскурсовода, основанную на модели Д. Дернера и К. Хилл. Потребностью робота-экскурсовода является поддержание производительности и взаимодействие с пользователем.

Авторы перечисленных выше работ говорят о том, что принципы функционирования памяти робота должны быть заимствованы у челове-





ка, однако не объясняют, почему это будет «полезным» приобретением для робота.

В приведенных работах можно выделить несколько недостатков. Например, Л. Коррея и А. Абрау моделируют утомление (пресыщение) изолированно от памяти и забывания в частности, хотя в психологии человека эти понятия взаимосвязаны. Уровень реакции робота на раздражитель в период утомления остается постоянным, хотя у человека снижается. В модели иерархической памяти робота Фади Альнаджар, Индра Зин и Кадзуюки Мурасе присутствуют ограничения на количество вершин в иерархической структуре памяти, возможно появление проблем в случае необходимости привязать к нескольким конечным вершинам древовидной структуры новую вершину — событие.

Основным недостатком всех перечисленных выше работ является то, что их авторы решают

узкоспециализированные задачи и не описывают «общую психологию» роботов в полном комплексе их деятельности.

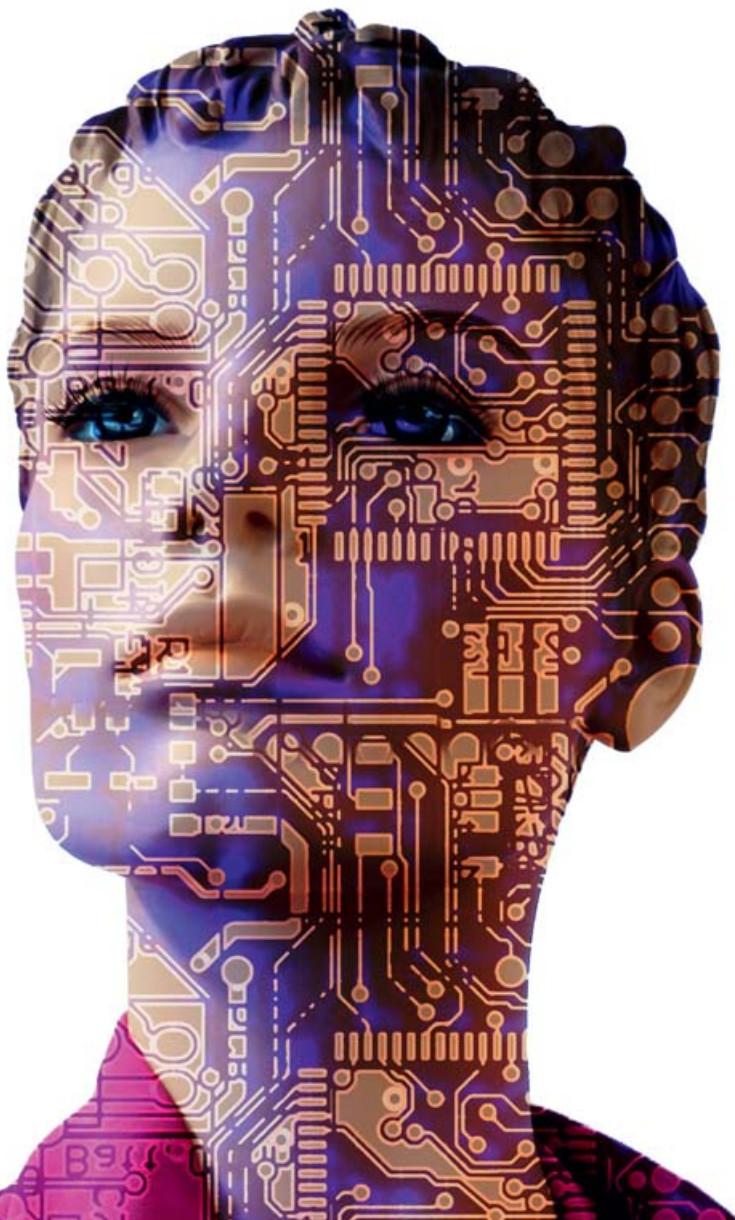
### Цифровые двойники человека

В монографиях академика О.Л. Фиговского [16, 17] приведены прежде всего философское и аналитическое обоснование и анализ инновационных технических процессов, происходящих в социуме. Настоящая статья описывает лишь детализацию этих процессов в конкретной области человеческой деятельности — эмоциональной робототехнике — и освещает некоторые достижения российских провинциальных ученых в этом направлении.

Начиная с 2010 г. в Перми под руководством профессора О.Г. Пенского активно проводятся исследования, посвященные математическому моделированию поведения эмоциональных роботов и принятия ими решений в зависимости от эмоционального воспитания и логического опыта. Математические модели создаются согласно хорошо развитой существующей гуманитарной общей теории психологии человека, а поэтому построение моделей осуществляется математиками при строгом контроле со стороны ученых-психологов. Это позволяет описывать формулами психологию роботов, аналогичную именно психологии человека, а не вымышленных абстрактных существ. Но в качестве входных «психологических» параметров моделей, позволяющих «вычислять» поведение роботов, разработчик роботов может задавать любые численные значения. Для описания психологического поведения конкретного человека входными параметрами математических моделей роботов являются численные характеристики, присущие этому человеку. Исследования пермяков носят фундаментальный характер. Однако в настоящей статье мы остановимся на прикладных аспектах создаваемой ими теории.

Прежде всего мы рассмотрим андроидных (то есть человекоподобных) роботов и постараемся оценить степень влияния искусственного интеллекта этих роботов на психологию человека и социум не на основе гуманитарных умозаключений, а согласно выводам, полученным из строгой математической теории, описывающей в числе прочего взаимоотношения робота и человека.

Мы приведем в статье лишь некоторые результаты математической теории «общей психологии» человекоподобных роботов, не вдаваясь в детали и нюансы этой теории.



Для математического описания формулами психологии человека пермские ученые используют введенные ими математические определения таких гуманитарных понятий, как эмоции, воспитание, логический опыт, и так называемых коэффициентов эмоциональной и логической кратковременной и долговременной памяти, которые характеризуют ту часть воспитания и информации, которая не забывается роботом или человеком с течением разных промежутков времени [18, 19].

Для дальнейшего изложения введем понятие «цифровой двойник человека». Цифровым двойником человека будем называть эмоционального робота, где входными параметрами математических моделей его «психологического поведения» являются психологические параметры, измеренные у конкретного человека [20].

Отметим то, что цифровой двойник — это лишь некоторый психологический аналог, а не полная копия человека, так как создать точную психологическую копию человека невозможно в силу многочисленных нюансов личности каждого существа, не поддающихся при математическом описании общим закономерностям.

Отметим также, что в настоящее время в РФ разработано и распространяется в свободной продаже программное компьютерное обеспечение, позволяющее без больших трудностей измерять эмоции человека и его коэффициенты кратковременной памяти [21]. Именно эти параметры необходимы для вычислений, позволяющих прогнозировать психологическое поведение цифровых двойников человека. Верификация натурными экспериментами математических формул, описывающих эмоциональное воспитание цифровых двойников, позволила сделать вывод, что средняя относительная погрешность отклонения результатов вычислений воспитания от реального воспитания человека не превышает 14%, то есть математическая модель воспитания цифровых двойников может быть использована в первом приближении и при описании психологии человека [22].

На основе математического моделирования психологических процессов у цифровых двойников доказана теорема, говорящая о том, что численное значение эмоционального воспитания двойника ограничено конкретным числом [19], присущим каждому цифровому двойнику, если его коэффициент эмоциональной памяти меньше константы, которая в свою оче-

редь меньше единицы. Таким образом, постоянно воспитывать цифрового двойника человека не имеет смысла, так как с увеличением воспитательных стимулов ответная итоговая эмоциональная реакция двойника на воспитание уменьшается и стремится к нулю.

Анализ полученных математических моделей показывает, что для устранения ограничения воспитания необходимо, чтобы цифровой двойник умел обобщать получаемую им информацию и воспитание. Для этого необходимо, чтобы двойник обладал не только кратковременной, но и долговременной памятью [1, 19].

В качестве примера практического применения этого утверждения можно предложить сценаристам и режиссерам различных длительных медиапроектов, состоящих из отдельных передач, создавать свои программы с учетом возможности обобщения аудиторией той информации

➤ **Фанатиком называется цифровой двойник человека, который с течением времени стремится к двойнику с абсолютной кратковременной памятью.**





и воспитания, которые были получены в результате передач, предшествующих каждой последней передаче медиапроекта [19].

На основе предложенных в Перми формул долговременной памяти цифровых двойников создана компьютерная программа [21], позволяющая вычислять коэффициенты кратковременной памяти человека.

Также доказана теорема о том, что при непрерывном воспитании двойника, для которого коэффициенты кратковременной памяти стремятся к единице с увеличением количества стимулов (что означает превращение двойника в робота с абсолютной памятью, с течением времени забывающего все меньше и меньше информации), воспитание двойника стремится к бесконечности или становится неограниченным. Эта теорема позволяет дать следующее определение: фанатиком называется цифровой двойник человека, который с течением времени стремится к двойнику с абсолютной кратковременной памятью.

Чтобы определить, является ли двойник фанатиком (фанатом для шоу-бизнеса) или таковым не является, можно использовать ранее упомянутое разработанное в РФ программное обеспечение.

Следует отметить, что для воспитания фанатиков вовсе не обязательно стремиться к тому, чтобы цифровые двойники человека умели обобщать полученное воспитание: важно лишь, чтобы кратковременная память воспитуемых стремилась к абсолютной памяти об эмоциональном восприятии каждого нового факта — психологического стимула, порождающего нужные воспитателю эмоции.

Математическая теория роботов с неабсолютной памятью дает возможность описывать взаимоотношения цифровых двойников, входящих в одну группу, и позволяет, например, прогнозировать эмоциональные конфликты в группе. Анализ математических моделей эмоциональных конфликтов показал, что при одинаковой эмоциональности каждого двойника в группе двойники никогда не будут конфликтовать, если, например, их коэффициенты эмоциональной памяти равны 0,333, 0,500, 0,143. И таких антиконфликтных коэффициентов памяти существует бесконечное множество [19]. Этот результат важен в связи с тем, что, подбирая цифровых двойников с антиконфликтными коэффициентами памяти, можно избежать психологических неурядиц, например, в трудовом коллективе.

## ➤ Знание преобладающего темперамента человека можно использовать для определения вида его трудовой деятельности.

Для выявления психологического лидера в группе предложены формулы так называемых коэффициентов внушаемости цифрового двойника [19], которые показывают степень психологического влияния одного двойника на другого: чем больше коэффициент внушаемости первого двойника по отношению ко второму, тем сильнее второй двойник зависит от поведения первого двойника. В результате численных экспериментов показано, что лидером в группе становится цифровой двойник с наименьшим коэффициентом внушаемости, наилучшим воспитанием и наибольшими коэффициентами кратковременной и долговременной памяти. На основании формул для коэффициентов внушаемости не составляет труда математически описать даже такое явление, как индивидуальный или групповой гипноз.

На основе математического определения эмоции цифрового двойника, предложенного в работах [19, 20], разработана формула вычисления преобладающего темперамента и создана компьютерная программа вычисления темперамента человека по амплитуде его голосового общения. Программа позволяет определить численное значение темперамента испытуемого в течение шести секунд. Алгоритм работы программы основан на нормировании вычисленных темпераментов большей группы людей с известными численными значениями темпераментов и позволяет определить численное значение темперамента двойника относительно этой группы [23]. Численное значение темперамента измеряется на полуинтервале (0, 1). Чем ближе значение преобладающего темперамента к единице, тем ближе человек к ярко выраженному холерику.

Верификация расчетов натурными экспериментами на основе известных психологических тестов показала, что правильность вычисления преобладающего темперамента относительно группы людей из 120 человек равна 16%. Отметим, что согласно исследованиям психологов холерик наиболее склонен к творческой работе, сангвиник принимает, как правило, обдуманные и правильные решения, а флегматики и меланхолики способны длительное время выполнять нудную и нетворческую работу. Поэтому

знание преобладающего темперамента человека можно использовать для определения вида его трудовой деятельности, например, при работе в компании.

Созданная математическая теория роботов с неабсолютной памятью на основе моделей амбивалентных эмоций позволяет с помощью существующих компьютерных технологий без психологического тестирования человека определить, является человек злопамятным или незлопамятным. Программа определения этих качеств человека основана на подсчете количества микровибраций головы испытуемого в течение четырех минут эксперимента с помощью установленной на компьютер видеокамеры [24]. Верификация натурными экспериментами показала, что предложенная методика выявления злопамятных и незлопамятных людей работает с точностью 87%.

### **Взаимоотношения роботов и цифровых двойников человека**

Остановимся на описании результатов «взаимоотношений» роботов и цифровых двойников человека.

Будем считать, что робот в отличие от цифрового двойника человека обладает абсолютной памятью, то есть ничего не забывает.

➤ **Именно математизация психологии человека позволит управлять поведением социума.**



В теории цифровых двойников математически строго доказана теорема [19]: роботы с абсолютной памятью опасны для человека.

Под опасностью для человека следует понимать психологическое подавление роботом с абсолютной памятью личности цифрового двойника.

Очевидно, что необходимым условием безопасности робота для цифрового двойника человека является отсутствие у робота абсолютной памяти.

Компьютер, не зараженный вредоносной программой, является роботом с абсолютной памятью. Поэтому следующая теорема, на наш взгляд, не менее важна [19]: любой цифровой двойник, длительно работающий за компьютером, обязательно приобретет компьютерную зависимость.

Под компьютерной зависимостью также будем предполагать психологическое подавление компьютером цифрового двойника человека.

В настоящее время мы повсеместно наблюдаем компьютерную зависимость человека от мобильных устройств, так как гаджетами длительно пользуются почти все жители городов России; человек теряет чувство уверенности, если, выходя на улицу, забывает мобильное устройство дома. К сожалению, компьютерной зависимости, как утверждает теорема, не может избежать ни один из нас.

### **Воспитание цифровых двойников человека с помощью медиа**

В этой статье мы уже приводили пример применения математической теории цифровых двойников в деятельности средств массовой информации. Дополнительно опишем еще один из результатов этой теории, который может использоваться на практике и который говорит о математическом правиле эффективного формирования общественного сознания с помощью медиапроектов.

Пусть в воспитании цифровых двойников используются средства массовой информации. Очевидно, что в решении вопросов эффективного формирования общественного сознания важен интерес аудитории к медиапроектам.

В монографии [19] предложена формула интереса цифровых двойников к программам СМИ. Исследование математической модели интере-

са показало, что этот интерес прежде всего зависит от эмоционального восприятия цифровым двойником передач проекта и коэффициента эмоциональной памяти двойника. Для того чтобы рассчитать план выпуска передач медиапроекта при условии неизменного интереса к нему аудитории (что обеспечивает неуклонное снижение рейтинга проекта), была разработана специальная компьютерная программа [25].

Результаты вычислений компьютерной программы приведены в *таблице*.

Анализ математической модели интереса дает основание утверждать, что при большом количестве непрерывных трансляций передач медиапроекта для сохранения постоянного интереса аудитории к проекту необходимо делать пропуски в трансляции передач, причем количество этих пропусков должно быть на единицу меньше количества непрерывных трансляций.

### **Общие модели диалектики развития социума цифровых двойников и макроэкономики**

Для прогнозирования развития макроэкономики и социума цифровых двойников пермскими учеными предложены математические модели развития виртуального мира, позволяющие описывать формулами законы диалектики: единства и борьбы противоположностей, перехода количества в качество и отрицания отрицания [26]. Модели функционируют при условии, что существует конкретно поставленная цель диалектического развития, выраженная набором чисел — вектором цели. Мы пока не говорим о том, что эти модели в точности описывают реальный мир, так как реальный мир имеет множество нюансов, которые разработанными моделями не предусматриваются. Поэтому из соображений научной осторожности мы употребляем термин «виртуальный мир». Однако, изучая виртуальный мир, исключая нюансы реального мира, можно определить наиболее значимые процессы, происходящие в окружающем мире, например, выявлять новые экономические циклы и тенденции развития экономики и социума вплоть до вычисления времени перехода системы в новое качество. Для вычисления этого времени разработана специальная компьютерная программа [27]. Отметим, что верификация математических моделей диалектики законами классической механики, описывающими механическое движение как часть реального мира, подтвердила правильность предлагаемых математических моделей.

\* \* \*

Таким образом, приведенное описание небольшого количества результатов исследований пермских ученых в моделировании цифровых двойников человека и виртуального мира позволяет утверждать, что эти модели могут с некоторым приближением применяться при описании психологии реального человека и реального мира.

Отличительной особенностью большинства существующих моделей экономики является то, что они не учитывают человеческий фактор при принятии как тактических, так и стратегических решений для управления социумом, также человеческий фактор, как правило, не рассматривается при проведении принятых решений в жизнь. Это, на наш взгляд, связано с отсутствием серьезной математической теории, позволяющей «оцифровывать» психологию человека. Но в работе [19], основанной на математической теории эмоциональных роботов с неабсолютной памятью, начала которой разработаны в Перми, уже приведено решение задачи построения оптимального плана выхода в эфир программ СМИ для получения наибольшей воспитательной эффективности при ограниченных финансовых затратах на производство медиапроектов.

Академик О.Л. Фиговский в одном из своих интервью для российской радиостанции «Вести FM» сказал, что именно математизация психологии человека позволит управлять поведением социума [28].

**План трансляции передач в эфире при сохранении неизменного интереса аудитории к медиапроекту**

Коэффициент кратковременной памяти цифрового двойника	Количество непрерывных выходов передач в эфире, сутки	Количество пропусков передач в эфире, сутки
0,7	3	1
–	5	4
–	7	6
–	9	8
–	11	10
–	31	30
0,9	9	4
–	11	7
–	13	10
–	15	12
–	17	15
–	19	17
–	21	20
–	25	24
–	27	26
–	29	28
–	31	30



При создании основ математической теории цифровых двойников человека, которая при дальнейшем усовершенствовании может перейти в теорию управления искусственным интеллектом реальным человеческим сознанием и подсознанием, перед пермскими авторами математических моделей встал важный этический вопрос, имеют ли они моральное право на разработку математической теории психологии человека.

Авторы пришли к следующему выводу: все равно кто-нибудь из ученых начнет создавать подобную теорию. Но авторы статьи в оправдание себе — помимо описания математических законов психологического управления человеком — имеют право формулировать и математически доказывать строгие теоремы, предупреждающие людей о некоторых «психологических» опасностях искусственного интеллекта пока для цифрового двойника, а затем и для реального человека. **✉**

ПЭС 20016 / 28.02.2020

#### Источники

1. Шарапов Ю.А. Математические модели эмоциональных роботов, способных забывать информацию: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Екатеринбург: УрФУ, 2019. 168 с.
2. Baxter P., Browne W. Memory as the substrate of cognition: A developmental cognitive robotics perspective. In: Johansson, B., Sahin, E., Balkenius, C. (eds.) // Proceedings

of the International Conference on Epigenetic Robotics (EpiRob). 2010. P. 19–26.

3. Correia L., Abreu A. Forgetting and Fatigue in Mobile Robot Navigation // *Advances in Artificial Intelligence — SBIA 2004 Lecture Notes in Computer Science*. 2004. P. 434–443.

4. Kira Z., Arkin R. Forgetting bad behavior: memory for case-based navigation // 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (IEEE Cat. No.04CH37566).

5. Freedman S.T., Adams J.A. Filtering Data Based on Human-Inspired Forgetting // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*. 2011. N 6 (41). P. 1544–1555.

6. Anderson J.R., Lebiere C. *The atomic components of thought* // Psychology Press, Taylor et Francis Group, 2012.

7. Brown G.D.A., Chater N., Neath I. A temporal ratio model of memory // *Psychol. Rev.* 2007. July. Vol. 114. N 3. P. 539–576.

8. Alnajjar F., Zin I.B.M., Murase K.A Hierarchical Autonomous Robot Controller for Learning and Memory: Adaptation in a Dynamic Environment // *Adaptive Behavior*. 2009. N 3 (17). P. 179–196.

9. Freitas A.A., De Carvalho A.A. Tutorial on Hierarchical Classification with Applications in Bioinformatics // In: D. Taniar (Ed.) *Research and Trends in Data Mining Technologies and Applications*, 2007. P. 175–208.

10. Ho W.C., Lim M., Vargas P.A., Enz S., Dautenhahn K., Aylett R. An Initial Memory Model for Virtual and Robot Companions Supporting Migration and Long-term Interaction, ROMAN, 2009.

11. Lim M., Ho W.C., Vargas P.A., Enz S., Aylett R. A Socially-Aware Memory for Companion Agents // *Materials*

#### References

1. Sharapov Yu.A. *Matematicheskie modeli emotsional'nykh robotov, sposobnykh zabyvat' informatsiyu* [Mathematical Models of Emotional Robots Capable to Forget Information]. Dis. ... kand. fiz.-mat. nauk. Ekaterinburg, UrFU, 2019, 168 p.
2. Baxter P., Browne W. *Memory as the substrate of cognition: A developmental cognitive robotics perspective*. In: Johansson, B., Sahin, E., Balkenius, C. (eds.). *Proceedings of the International Conference on Epigenetic Robotics (EpiRob)*, 2010, pp. 19–26.
3. Correia L., Abreu A. *Forgetting and Fatigue in Mobile Robot Navigation*. *Advances in Artificial Intelligence — SBIA 2004 Lecture Notes in Computer Science*. 2004. P. 434–443.
4. Kira Z., Arkin R. *Forgetting bad behavior: memory for case-based navigation*. 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (IEEE Cat. No.04CH37566).
5. Freedman S.T., Adams J.A. *Filtering Data Based on Human-Inspired Forgetting*. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 2011, no 6 (41), pp. 1544–1555.
6. Anderson J.R., Lebiere C. *The atomic components of thought*. Psychology Press, Taylor et Francis Group, 2012.
7. Brown G.D.A., Chater N., Neath I. A temporal ratio model of memory. *Psychol. Rev.*, 2007, July, vol. 114, no 3, pp. 539–576.
8. Alnajjar F., Zin I.B.M., Murase K.A Hierarchical Autonomous Robot Controller for Learning and Memory: Adaptation in a Dynamic Environment. *Adaptive Behavior*, 2009, no 3, pp. 179–196.
9. Freitas A.A., De Carvalho A.A. *Tutorial on Hierarchical Classification with Applications in Bioinformatics*. In: D. Taniar (Ed.) *Research and Trends in Data Mining Technologies and Applications*, 2007, pp. 175–208.
10. Ho W.C., Lim M., Vargas P.A., et al. *An Initial Memory Model for Virtual and Robot Companions Supporting Migration and Long-term Interaction*. ROMAN, 2009.
11. Lim M., Ho W.C., Vargas P.A., et al *A Socially-Aware Memory for Companion Agents*. *Materials of 9th International Conference on Intelligent Virtual Agents*, Amsterdam, 2009.
12. Vargas P.A., Freitas A.A., Lim M., et al. *Forgetting and Generalisation in Memory Modelling for Robot Companions: a Data Mining Approach*. *Materials of Human Memory for Artificial Agents Symposium at the AISB 2010 convention*. De Montfort University, Leicester, UK, 2010.
13. Vargas P.A., Ho W., Lim M., et al. *To forget or not to forget: towards a roboethical memory control*. Google Scholar, 2009.
14. Dörner D., Hille K. *Artificial souls: motivated emotional robots*. 1995 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. *Intelligent Systems for the 21st Century*, 1995, pp. 3828–3832.

of 9th International Conference on Intelligent Virtual Agents. Amsterdam, 2009.

12. Vargas P.A., Freitas A.A., Lim M., Enz S., Ho W., Aylett R. Forgetting and Generalisation in Memory Modelling for Robot Companions: a Data Mining Approach // Materials of Human Memory for Artificial Agents Symposium at the AISB 2010 convention. De Montfort University, Leicester, UK, 2010.

13. Vargas P.A., Ho W., Lim M., Enz S., Aylett R. To forget or not to forget: towards a roboethical memory control // Google Scholar, 2009.

14. Dörner D., Hille K. Artificial souls: motivated emotional robots // 1995 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Intelligent Systems for the 21st Century, 1995. P. 3828–3832.

15. Lim M.Y. Emotions, Behaviour and Belief Regulation in An Intelligent Guide with Attitude // Ph.D. thesis, School of Mathematical and Computer Sciences, Heriot-Watt University. Edinburgh, 2007.

16. Фиговский О.Л., Гумаров В.А. Инновационные системы: достижения и проблемы. ФРГ: Lambert AP, 2018.

17. Фиговский О.Л., Гумаров В.А. Инновационные системы: перспективы и прогнозы. ФРГ: Lambert AP, 2019.

18. Пенский О.Г., Черников К.В. Основы математической теории эмоциональных роботов. Пермь: Пермский гос. ун-т, 2010. 256 с. [Текст парал. рус., англ.]

19. Пенский О.Г., Шарапов Ю.А., Ощепкова Н.В. Математические модели роботов с неабсолютной памятью и приложения моделей. Пермь: Изд-во ПермГУ, 2018. 310 с.

20. Пенский О.Г. Математические модели цифровых двойников. Пермь: Изд-во ПермГУ, 2019. 156 с.

21. Шарапов Ю.А. Программа определения коэффициентов кратковременной памяти человека «СМемогу». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012616009, дата выдачи: 29.06.2012.

22. Черников К.В. Математические модели роботов с неабсолютной памятью: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Пермь: ПНИПУ, 2013. 139 с.

23. Михайлов В.О., Пенский О.Г. Способ вычисления темперамента человека и робота // Вестник Пермского университета. 2016. № 1. С. 27–32. Серия: Математика. Механика. Информатика.

24. Биометрические системы [Электронный ресурс] // Psumaker. URL: <http://www.psumaker.com/ru/shop/legkie-versii/>

25. Пенский О.Г. Расчет планирования выпуска медиапроектов в эфир. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016660145, дата выдачи: 07.09.2016.

26. Пенский О.Г. Математические модели диалектики виртуального мира // Вестник Пермского университета. 2019. № 2. С. 57–65. Серия: Математика. Механика. Информатика.

27. Пенский О.Г. Вычисление времени перехода системы в новое качество. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020610759, дата выдачи: 20.01.2020.

28. Фиговский О.Л. Что мешает России стать хай-тек державой? Интервью программе Е.Я. Сатановского «От трех до пяти» [Электронный ресурс] // Вести FM. 2020. 13 января. URL: <https://radiovesti.ru/person/253875/>

15. Lim M.Y. *Emotions, Behaviour and Belief Regulation in An Intelligent Guide with Attitude*. Ph.D. thesis, School of Mathematical and Computer Sciences, Heriot-Watt University. Edinburgh, 2007.

16. Figooskii O.L., Gumarov V.A. *Innovatsionnye sistemy: dostizheniya i problem* [Innovative Systems: Achievements and Challenges]. Germany, Lambert AP, 2018.

17. Figooskii O.L., Gumarov V.A. *Innovatsionnye sistemy: perspektivy i prognozy* [Innovative Systems: Prospects and Forecasts]. Germany, Lambert AP, 2019.

18. Penskii O.G., Chernikov K.V. *Osnovy matematicheskoi teorii emotsional'nykh robotov* [Fundamentals of the Mathematical Theory of Emotional Robots]. Perm', Permskii gos. un-t, 2010, 256 p.

19. Penskii O.G., Sharapov Yu.A., Oshchepkova N.V. *Matematicheskie modeli robotov s neabsolyutnoi pamyat'yu i prilozheniya modelei* [Mathematical Models of Non-Absolute Memory Robots and Models Applications]. Perm', Izd-vo PermGU, 2018, 310 p.

20. Penskii O.G. *Matematicheskie modeli tsifrovyykh dvoynikov* [Mathematical Models of Digital Doubles]. Perm', Izd-vo PermGU, 2019, 156 p.

21. Sharapov Yu.A. *Programma opredeleniya koeffitsientov kratkovremennoi pamyati cheloveka "СМемогу"* ["СMemory" Program for Determining Coefficients of Short-Term Human Memory]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM no 2012616009, data vydachi: 29.06.2012.

22. Chernikov K.V. *Matematicheskie modeli robotov s neabsolyutnoi pamyat'yu* [Mathematical Models of Robots with Non-Absolute Memory]. Dis. ... kand. fiz.-mat. nauk. Perm', PNIPIU, 2013, 139 p.

23. Mikhailov V.O., Penskii O.G. *Sposob vychisleniya temperamenta cheloveka i robota* [Method for Calculating the Temperament of a Person and Robot]. *Vestnik Permskogo universiteta*, Seriya: Matematika. Mekhanika. Informatika, 2016, no 1, pp. 27–32.

24. *Biometricheskie sistemy* [Biometric Systems]. Psumaker, available at: <http://www.psumaker.com/ru/shop/legkie-versii/>

25. Penskii O.G. *Raschet planirovaniya vypuska mediaproektov v efir* [Calculation of Planning the Release of Media Projects on the Air]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM no 2016660145, data vydachi: 07.09.2016.

26. Penskii O.G. *Matematicheskie modeli dialektiki virtual'nogo mira* [Mathematical Models of the Virtual World Dialectics]. *Vestnik Permskogo universiteta*, Seriya: Matematika. Mekhanika. Informatika, 2019, no 2, pp. 57–65.

27. Penskii O.G. *Vychislenie vremeni perekhoda sistemy v novoe kachestvo* [Calculating the Time of a System Transition to the New Quality]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM no 2020610759, data vydachi: 20.01.2020.

28. Figooskii O.L. *Chto meshaet Rossii stat' khai-tek-derzhavoi? Interv'yu programme E.Ya. Satanovskogo "Ot trekh do pyati"* [What Prevents Russia from Becoming a High-Tech Power? Interview to the Program "From Three to Five" of E.Y. Satanovsky]. *Vesti FM*, 2020, January, 13, available at: <https://radiovesti.ru/person/253875/>