

Пределы и риски цифровой трансформации

Т. С. Ахромеева, к. ф.-м. н., научный сотрудник

E-mail: maglichek@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-8340-5796

Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН,
Миусская пл., д. 4, 125047, Москва, Россия

Г. Г. Малинецкий, д. ф.-м. н., профессор

E-mail: GMalin@Keldysh.ru

ORCID ID: 0000-0001-6041-1926

Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН,
Миусская пл., д. 4, 125047, Москва, Россия

С. А. Посашков, к. ф.-м. н., доцент,

декан Финансового университета при Правительстве РФ

E-mail: SPosashkov@fa.ru

ORCID ID: 0000-0002-1699-9942

Финансовый университет при правительстве РФ,
ул. Щербаковская, 38, Смоленск, Смоленская обл.,
214018, Москва, Россия

Аннотация. В настоящее время процесс цифровой трансформации активно идет в экономике, науке, образовании и в обществе в целом. С ним связан ряд ограничений и рисков, рассматриваемых в статье. Большой класс ограничений позволяет выявить математическая теория сложности. Точное решение ряда простых по виду проблем с небольшим объемом входных данных требует ресурсов, многократно превышающих возможности всех доступных компьютеров.

На «границе» между естественным и искусственным интеллектом имеет место «когнитивный барьер». Это приводит к тому, что мы, как правило, не можем воспользоваться результатами работы ряда систем с искусственным интеллектом, чтобы скорректировать свои стратегии. Мы и машины «думаем» по-разному. Их приходится рассматривать как «черные ящики». Весьма вероятно, что тестер систем искусственного интеллекта станет одной из массовых профессий уже в недалеком будущем.

Приведены примеры, показывающие, что «перевод» с «непрерывного» на «дискретный» язык может приводить к качественно различному поведению математических моделей. В ряде задач, связанных с вычислительным экспериментом, это может быть весьма существенно.

Большие риски возникают при переходе в «быстрый мир», при приближении к «барьеру Лема». Это происходит, когда системам искусственного интеллекта препоручаются стратегически важные задачи, которые они должны решать в темпе, недоступном для человека.

Проведенный анализ показывает, что управление рисками цифровой трансформации и её ограничений требует внимания научного и экспертного сообщества, а также активных участников этого процесса.

Ключевые слова: цифровая трансформация, риски и ограничения, тест Тьюринга, сложность, когнитивный барьер, дискретная и непрерывная реальность, искусственный интеллект, быстрый мир, тестер систем с искусственным интеллектом, барьер Лема

Для цитирования: Ахромеева, Т. С. Пределы и риски цифровой трансформации / Т. С. Ахромеева, Г. Г. Малинецкий, С. А. Посашков // Цифровая трансформация. – 2020. – № 2 (11). – С. 51–57. <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2020-2-51-57>

© Цифровая трансформация, 2020



Limits and Risks of Digital Transformation

T. S. Akhromeeva, Candidate of Sciences (Physics and Mathematics),
Researcher

E-mail: maglichek@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-8340-5796

RAS Keldysh Institute of Applied Mathematics, 4 Miuskaya Sq.,
125047 Moscow, Russia

G. G. Malinetskiy, Dr. Sc. (Physical and Mathematical),
Department Leader

E-mail: GMalin@Keldysh.ru

ORCID ID: 0000-0001-6041-1926

RAS Keldysh Institute of Applied Mathematics, 4 Miuskaya Sq., 125047
Moscow, Russia

S. A. Posashkov, Candidate of Sciences (Physics and Mathematics),
Associate Professor, Dean of the Financial University under the
Government of the Russian Federation

E-mail: SPosashkov@fa.ru

ORCID ID: 0000-0002-1699-9942

Financial University under the Government of the Russian Federation,
38 Shcherbakovskaya Str., 214018 Smolensk, Smolensk region, Russia

Abstract. Currently, the process of digital transformation is actively going on in the economy, science, education, and society as a whole. This process has a number of restrictions and risks we consider. The mathematical theory of complexity reveals a large class of the restrictions. The exact solution of a number of simple-looking problems with a small amount of input data requires resources many times greater than the capabilities of all available computers. On the “border” between natural and artificial intelligence lies the “cognitive barrier”. This, as a rule, makes it impossible to use the results of a number of artificial intelligence systems to adjust our strategies. We and computers “think” differently. They have to be considered as “black boxes”. It is very likely that the tester of artificial intelligence systems will become one of the mass professions in the close future.

We give examples to show that the “translation” from “continuous” to “discrete” language can lead to qualitatively different behavior of mathematical models. In a number of problems associated with a computational experiment this can be quite significant.

Great risks arise when passing to the “fast world”, approaching the “Lem’s barrier”. It happens when artificial intelligence systems are assigned strategically important tasks that they must solve at a speed inaccessible to humans.

The analysis shows that managing the risks of digital transformation and its limitations requires the attention of the scientific and expert community, as well as active participants in this process.

Key words: digital transformation, risks and limitations, Turing test, complexity, cognitive barrier, discrete and continuous reality, artificial intelligence, fast world, tester of systems with artificial intelligence, Lem’s barrier

For citation: Akhromeeva T. S., Malinetskiy G. G., Posashkov S. A. Limits and Risks of Digital Transformation. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2020, 2 (11), pp. 51–57 (in Russian). <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2020-2-51-57>

© Digital Transformation, 2020

Постановка задачи. Происходящая в настоящее время цифровая трансформация связана с массовым проникновением компьютерных технологий во все сферы жизнедеятельности и в быт. В настоящее время более 3 млрд чел. пользуются интернетом. Представление о цифровой трансформации во многом связано с концепцией четвертой промышленной революции, выдвинутой основателем Давосского экономического форума Клаусом Швабом [1]. По его мысли, в основе происходящих и предстоящих перемен лежит «вездесущий и мобильный интернет». Эти идеи, к примеру, нашли отражение в государственной программе «Цифровая экономика РФ» [2] и программе развития искусственного интеллекта в России.

Однако история науки и техники показывает, что при появлении базисных инноваций,

меняющих сферу производства и общество, их возможности, как правило, переоцениваются, ограничения не учитываются, а риски, связанные с их использованием, игнорируются. Примером служат изобретение кораблей для дальнего плавания, механических часов, самолетов, радио, телевидения, компьютеров. По-видимому, так же дело обстоит и с цифровой трансформацией. Поскольку в России и Беларуси она рассматривается как один из государственных приоритетов, разумно изучить её ограничения и риски. Это важно и для стратегического прогноза, и для долгосрочного планирования. Именно ограничениям и рискам цифровой трансформации посвящены данные заметки.

Ограничения сложности решения задач.

Со времени античной математики простыми задачами считались те, которые можно было либо

быстро решить, либо быстро доказать их неразрешимость. В эпоху компьютеров это определение изменилось. Пусть для решения задачи в качестве исходных данных необходим массив из N чисел, а произвести следует Q действий. Задачи, в которых $Q \approx N^\alpha$, $\alpha = \text{const}$ (например, при сложении двух N -значных чисел $\alpha = 1$) считаются простыми. Задачи, в которых зависимость Q от N является более быстрой, называются сложными [3].

Пример сложной проблемы дает задача коммивояжера. В ней дано N точек (городов), расположенных на плоскости. Требуется найти кратчайший путь, двигаясь по которому, можно объехать все эти города. Оценим число таких маршрутов. Первый город можно выбрать N способами, второй – $N - 1$ и т. д., поэтому существует $N! \equiv N(N - 1) \dots \cdot 2 \cdot 1$. Известно, что в общем случае точное решение этой задачи требует полного перебора $Q = N!$. Эту величину можно оценить по формуле Стирлинга

$$N! \approx \sqrt{2\pi N} (N/e)^N, \text{ где } e = 2,718\dots$$

Таким образом, эта задача является сложной. Компьютерам она оказывается недоступной уже при небольших N . В самом деле $70! > 10^{100}$, однако, по существующим оценкам, во вселенной примерно 10^{82} атомов. Известный американский физик Ф. Дайсон назвал число 10^{100} «гугол» (от английского “huge” – огромный, гигантский). По его мысли, большие числа не должны встречаться в физических исследованиях, относящихся к нашей реальности. Таким образом, задача коммивояжера уже при $N = 70$ недоступна ни современным, ни перспективным компьютерам.

Задачи, схожие с задачей коммивояжера, решаются, например, в интересах современной микроэлектроники. Допустим, надо в соответствии с заданными ограничениями и критериями разместить на кристалле более 100 млн элементов. По счастью в данном случае нам не обязательно нужно точное решение этой задачи, а вполне достаточно хорошего приближенного [4]. Однако есть области, где интерес представляет именно точное решение. Это, в частности, криптография, где из гигантского числа возможных шифров надо выбрать один, с помощью которого закодировано данное сообщение. Схожие задачи возникают при проектировании и управлении рисками аварий технических устройств. В автомобиле порядка $N \sim 10^4$ деталей, в самолете $N \sim 10^5$. Если в блок-схеме механизма к одной детали идет лишь одна связь, а выходит тоже

лишь одна (это нереалистично), то мы имеем $N!$ компоновок механизма. В заключениях комиссии по выяснению причин аварий часто фигурирует формулировка «авария произошла в результате сочетания многих неблагоприятных маловероятных факторов». В сложных машинах просмотреть все причинно-следственные цепочки, которые могут привести к авариям и катастрофам, как правило, нереально. Одним из следствий этого стал принятый сейчас вероятностный подход к управлению рисками технических аварий и катастроф [5]. О том же говорит инженерная, а позже – программистская мудрость относительно «улучшающих инноваций», призванных модернизировать то, что и так удовлетворительно функционирует. Эту мудрость выражает фраза, приписываемая генеральному конструктору советских космических аппаратов, академику С. П. Королёву: «Не тронь, пока работает».

Компьютеры многократно расширили возможности решения многих задач. Однако их применение ограничивается сложностью возникающих проблем, что сейчас также следует иметь в виду. Более того – сам выход за эти ограничения стал использоваться для ряда технологий (криптография с открытым ключом, системы блокчейн и др.).

Когнитивный барьер. В настоящее время большие надежды возлагают на искусственный интеллект. Если предшествующие промышленные революции, связанные с механизмами, машинами, автоматизацией в принципе освободили человека от тяжелого физического труда, то цифровые революции должны освободить от рутинной умственной работы.

Интеллект и сознание являются в настоящее время, скорее, не понятиями, а обширными концепциями. Поэтому и направление работ, связанных с «искусственным» интеллектом, не имеет четких границ. Родоначальником этой области можно считать выдающегося математика Алана Тьюринга, предложившего в своей книге «Может ли машина мыслить?» игру «имитация» [6]. В этой игре программа должна была имитировать ответы мужчины или женщины. Если человек, пытающийся узнать пол собеседника, вопреки усилиями последнего, в случае «машинных ответов» будет ошибаться не реже, чем в случае «человеческих», то естественно считать, что компьютерная программа вполне успешно имитирует в данной области человека. Это и означает, что тест Тьюринга пройден.

По-видимому, в таком варианте в настоящее время множество программ справляется

с имитацией этого элемента интеллекта. Поэтому речь идет о более сложных заданиях. В течение ряда лет велась работа над совершенствованием шахматных программ. Компьютер может «помнить» огромную библиотеку дебютов, стандартных окончаний и миллионы сыгранных людьми и компьютерами партий. Тем не менее, это ничтожная часть всех позиций, возможных на доске. В русских шашках таковых порядка 10^{28} , в шахматах 10^{53} , в го – 10^{123} , что на 40 порядков превышает число атомов во Вселенной. Поэтому недостаточно решать задачу классификации или «распознавания образов». Нужны алгоритмы оценки позиции, на основе которых можно было бы рассчитать, ухудшит или улучшит положение данного игрока конкретный ход с учетом последующих действий противника. В первых шахматных программах эти алгоритмы были результатом совместной работы математиков и шахматистов или были основаны на статистическом анализе большого количества сыгранных партий.

Однако важнейшая способность интеллекта – это способность к самообучению, к тому, чтобы извлекать уроки из сделанных ошибок и на этой основе менять свои стратегии. И в этом направлении за последние пять лет был сделан решающий шаг. Важной вехой стал убедительный выигрыш программы AlphaGo в серии партий у чемпиона мира Кэ Цзе: «Работа AlphaGo основана на технологии глубокого обучения – новаторском методе в области искусственного интеллекта, позволяющем развивать компьютерные способности машин. Программы, основанные на глубоком обучении, теперь могут лучше, чем люди, идентифицировать лица, распознавать речь и выдавать кредиты». [7, с.18,19].

Прорыв связан с тем, что вместо «организации», «обучения», опоры на человеческий опыт игры при создании AlphaGo использовались «самоорганизация», «самообучение» и только опыт игры компьютера «с самим собой». В ходе таких игр, продолжавшихся несколько месяцев, совершенствовались стратегии, менялись веса связей в соответствующих нейронных сетях и «самоформировалась» компьютерная программа, сумевшая, в конце концов, обыграть человека.

И это заставляет заглянуть в будущее и поставить вопрос о взаимодействии людей с системами искусственного интеллекта. Может ли нас чему-нибудь «научить» искусственный интеллект, можем ли мы «понять его»? Как нам следует взаимодействовать с системами, опирающимися на искусственный интеллект?

Как это и делается в математике, ответы на общие вопросы надо искать, начиная с конкретных простейших случаев. В работе [8] система с простейшим вариантом искусственного интеллекта была построена для карточной игры «веришь – не веришь». В этой игре два партнера выкладывают свои карты по одной, рубашками вверх. Выкладываются карты определенного достоинства. Например, один партнер, начинающий игру, объявляет «восьмерка». Его соперник либо может положить карту сверху, утверждая, что это «восьмерка», либо сказать «не верю». В последнем случае верхняя карта открывается. Если это действительно «восьмерка», то все положенные карты забирает игрок, сказавший «не верю». В противном случае – его соперник. Выигрывает тот, у которого в конце концов карт не осталось.

Программа (нейронная сеть) обучалась в ходе партий с людьми. В результате этого она «научилась» играть на среднем уровне, побеждая слабых соперников и проигрывая сильным. Естественно далее было узнать как же она играет, чему она обучилась. Её «навыки» отражают более сотни весов нейронной сети, которые подстраивались в ходе сыгранных партий [9]. Простейший способ такой подстройки дает классический алгоритм обратного распространения ошибки. Идеально было бы получить какое-нибудь простое правило, зависящее от десятка параметров, сделать результат обучения нейронной сети «прозрачным», чтобы им мог воспользоваться человек. Для этого был выбран десяток самых больших по абсолютной величине весов, а остальные положены нулю. На этой основе уже можно построить некоторый логический алгоритм, подсказывающий человеку, как следует действовать в том или ином случае. К сожалению, этот «упрощенный» вариант нейросети стал играть совсем плохо [8].

Таким образом, даже в этом простейшем случае нейросеть остается «черным ящиком», анализ параметров которого не позволяет ничему научить человека. Этот маленький пример показывает большую проблему, связанную со взаимодействием между естественным и искусственным интеллектами.

То, что очевидно для первого, для второго таковым не является. И шахматы, и шашки, и го имеют четкие правила, полностью известную конфигурацию фигур на доске и однозначный критерий успеха. В большинстве ситуаций, с которыми сталкиваются люди, это не так.

В начале XX в. выдающийся математик Жак Адамар ввел понятие корректности задач

математической физики. Таковыми он назвал те, в которых решение существует единственно и устойчиво по отношению к начальным данным и входящим в уравнение параметрам. Тем не менее, одной из центральных тем всей прикладной математики XX в. стала разработка методов решения некорректных задач, которых очень много вокруг и которые весьма важны [10]. Например, некорректной является задача численного дифференцирования таблично заданной функции. Если задача интерполяции является корректной и устойчивой (относительно малых вариаций данных, используемых для интерполяции), то проблема экстраполяции, естественно возникающей при прогнозировании состояния объекта, корректной не является.

Как решают некорректные задачи? Привлекают ту или иную априорную информацию, сужают тем или иным способом пространство поиска, уточняют, какие решения мы на самом деле ищем, стараемся формализовать различные «очевидные» соображения [13]. В случае искусственного интеллекта делать это мы пока не умеем.

Разумеется, это не повод для того, чтобы отказываться от систем с глубоким обучением, вырабатывающим решающие правила на основе самоорганизации. Но это означает, что нам придется иметь дело с ними как с «черным ящиком», как с «неизвестной сущностью». Это совсем другой объем работы и иные алгоритмы в сравнении с теми, которые используются при тестировании и сертификации написанных людьми программ. Вполне возможно, что одной из профессий будущего станет тестер систем искусственного интеллекта.

Ограничения цифровой реальности. Понятие действительного числа формировалось в течение многих веков. По легенде, то, что $\sqrt{2}$ является иррациональным числом, было тайной пифагорейского ордена, которую Пифагор доверял только нескольким ближайшим ученикам. Понятие действительного числа парадоксально – это бесконечная последовательность цифр. Оно может быть «измерено» лишь с конечной точностью. Тем не менее, это понятие вместе с дифференциальным и интегральным исчислением с их бесконечно малыми величинами лежит в фундаменте современного естествознания. Они являются тем языком, на котором формулируются законы природы, который, говоря в философских терминах, позволяет работать с актуальной бесконечностью, с пределами.

Числа в компьютерном представлении имеют лишь конечное число разрядов и поэтому являются более простыми объектами.

Приведем наглядный пример. Джон фон Нейман с коллегами предложил метод Монте-Карло, позволяющий с помощью компьютерной имитации исследовать множество физических процессов. Важнейшим элементом этого метода являются случайные числа, имеющие заданное распределение вероятностей [11]. Вместо них на компьютере с помощью тех или иных алгоритмов генерируют псевдослучайные числа, близкие в том или ином смысле к случайным. Нейман предложил в качестве генератора таких чисел использовать одномерное отображение

$$x_{n+1} = 1 - 2|x_n|, \quad n = 1, 2, \dots, \quad x_1 = \tilde{x}, \quad -1 \leq x \leq 1.$$

Это отображение, иногда называемое «платкой», переводит отрезок $[-1; 1]$ в себя и имеет инвариантную меру с плотностью

$$p(x) = \begin{cases} 1/2 & |x| \leq 1 \\ 0 & |x| > 1 \end{cases}.$$

Это отображение ведет себя парадоксальным образом. Если $\tilde{x} = p/q$, где p и q – целые ($q \neq 0$) (то есть рационально), то не более чем через $2q + 1$ шагов оно начнет генерировать периодическую последовательность дробей со знаменателем, не большим q . Если, напротив, \tilde{x} – иррационально, то последовательность будет непериодической.

Но взятое наугад действительное число на отрезке $[-1; 1]$ будет иррациональным. Любое число на том же отрезке в компьютерном представлении будет рациональным. И, казалось бы, в этом случае у нас так же, как и в исходном отображении при рациональном значении \tilde{x} , при компьютерной имитации должна получаться периодическая последовательность чисел. Но и этого не происходит – в силу особенности двоичной системы счисления $x_n = 1$, начиная с некоторого n .

Конечно, довольно быстро было понято, что отображение Неймана не является хорошим генератором псевдослучайных чисел, и на практике начали использоваться более сложные конструкции [11]. Тем не менее, это показывает, что во многих отношениях мир действительных и целых чисел кардинально отличаются.

Трудно переоценить значение компьютерного моделирования и вычислительного эксперимента для современной науки и техники. В основе большинства достигнутых в этой связи успехов является замена дифференциальных уравнений в частных

производных их разностными аналогами. Теория разностных схем является асимптотической. Требования аппроксимации означают, что разностные уравнения должны аппроксимировать дифференциальные с некоторым порядком малости $o(\tau^m)$, $o(h^n)$, где τ и h – шаги по пространству и по времени, при τ и h стремящимися к нулю [12]. Последнее нереально, поэтому приходится экспериментально выяснять, каких τ и h достаточно мало. Кроме того, то, что сама аппроксимирующая функция дискретна, игнорируется.

К тому же поведение дифференциальной и разностной задачи может кардинально отличаться. Приведем простейший пример. В теории режимов с обострением, описывающей динамику систем с положительной обратной связью [13], принципиальную роль играет задача Коши

$$\frac{dx}{dt} = ax^\beta, x(0) = x_0 \rightarrow x(t) = ((\beta - 1)(C - at))^{-\frac{1}{\beta-1}}$$

где $C = \frac{x_0^{1-\beta}}{\beta - 1}$, то есть $x(t) \rightarrow \infty$ при $t \rightarrow C/a$.

Это решение описывает взрывную неустойчивость, при которой решение существует лишь до «момента обострения» $t = C/a$. Однако попытка посчитать это решение с любым постоянным шагом τ с помощью метода Эйлера или любым другим явным методом дает решение, существующее при $0 < t < \infty$. Это – качественное отличие.

Другими словами, «цифровое» моделирование «непрерывной» реальности имеет существенные ограничения, которые в ряде случаев приходится иметь в виду.

Ограничения человека и барьер Лема. Цифровая трансформация имеет принципиальные ограничения, связанные с возможностями человека. По данным психологов, мы можем, принимая решения, учесть лишь 5÷7 факторов. Мы способны творчески по существу взаимодействовать не более, чем с 5÷7 людьми, и помнить отношение к себе не более, чем 120÷150 человек (число Данбара). Людям не удается писать коды, в которых было бы меньше одной ошибки на 1 000 команд. По экспертным оценкам, в операционной системе Windows 7 было примерно 50 тыс. уязвимостей, из которых несколько тысяч использовались спецслужбами. «Техническая поддержка» этой системы заключалась в постоянном «латании дыр», которые обнаруживали пользователи и сообщали о ней компании, а также в постоянной рассылке обновлений.

Мы оказались в парадоксальной ситуации. С одной стороны, мы не можем обойтись без таких инструментов, как компьютер, а с другой следует

иметь в виду, что используемые программы ненадежны. Их тестирование требует всё больше времени и денег. Ошибки в компьютерных кодах уже привели к катастрофам с человеческими жертвами. Недавние примеры связаны с авариями самолетов фирмы Boeing в 2019 г., вызванными неверными действиями автопилота из-за недоработок в программе. Переоценка возможностей компьютеров будет приводить к росту числа происшествий такого рода. И это продолжится до тех пор, пока не появится ясное понимание того, что действительно можно поручить компьютерам.

Роботы и системы искусственного интеллекта расширяют диапазон возможностей человека по многим направлениям [14]. Одно из них – переход к «быстрому времени», к принятию и исполнению решений в темпе, недоступном для человека.

На огромную опасность этого явления в военной сфере обращал внимание выдающийся польский фантаст, футуролог, философ Станислав Лем в эссе «Системы оружия XXI века», предсказавшем многие направления развития систем вооружений на десятилетия вперед [15]. Вывод этой работы: «неслыханно быстрые машины ошибаются неслыханно быстро», поэтому технический прогресс и переход к «быстрому миру», в котором сражаются «компьютер против компьютера», не увеличивает безопасность, а вводит на новом уровне факторы случайности и непредсказуемости в сферу силового противостояния государств.

В работе [16] было введено понятие «барьера Лема». Это переход к системам управления в настолько быстром времени, в котором адекватный ответ требует исключения человека из контура принятия решения. Очевидно, в этом случае масштабный или даже глобальный конфликт может стать результатом несовершенства используемых программ или компьютерной ошибки. Барьер Лема не должен переходиться – об этом уже сейчас следует вести переговоры до того, как оружие такого класса будет создано.

В свое время от выдвинутой президентом Рейганом программы «звездных войн» отказались во многом из-за гигантской работы по созданию программного обеспечения для системы такого класса. По сделанным тогда оценкам эта работа должна была потребовать десятков миллионов человеко-лет деятельности квалифицированных программистов. На том рубеже здравый смысл взял верх, и сверхдержавам удалось заблокировать это направление развития. Сейчас мы вновь находимся в точке бифуркации, в которой определяется вектор развития, в том числе и в военной сфере.

Прогресс систем искусственного интеллекта, проекты цифровизации реальности и четвертой промышленной революции породили множество иллюзий о возможностях компьютеров и «Боге из машины». Поэтому важно, чтобы ра-

бота по оценке пределов цифровизации и связанных с ней рисков была продолжена и не откладывалась в долгий ящик.

Работа поддержана РФФИ проекты 19-01-00602 и 18-01-00619.

Список литературы

1. Шваб, К. Четвертая промышленная революция/ К. Шваб // Top Business Awards. – М.: Издательство «Э», 2017. – 208 с.
2. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» – Распоряжение Правительства РФ от 28 июля 2017 г. № 1632-р.
3. Введение в криптографию / Под ред. В.В.Яценко/ 3-е изд. – М.: МЦНМО: «ЧеРо», 2000. – 288 с.
4. Комаров, М. М. Физическое проектирование субмикронных СБИС. Проблемы, задачи, алгоритмы/ М. М. Комаров// Будущее прикладной математики: Лекции для молодых исследователей. От идей к технологиям. – М.: КомКнига, 2008. С.230-254.
5. Владимиров, В. А. Управление риском. Риск, устойчивое развитие, синергетика./ В. А. Владимиров, Ю. Л. Воробьев и др./ М.: Наука, 2000. – 432 с. – (Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения)
6. Тьюринг, А. Может ли машина мыслить?/ А. Тьюринг// Саратов: Колледж, 1999. – 100 с.
7. Ли, К. Ф. Сверхдержавы искусственного интеллекта: Китай, Кремниевая долина и новый мировой порядок / К. Ф. Ли// М.: Манн, Иванов и Фербер, 2019. – 240 с.
8. Князатов, С.А., Малинецкий Г.Г. Решение задачи распознавания блефа в игре «верю – не верю» с помощью алгоритмов обучения с подкреплением// Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша. 2018, №170. – 21 с.
9. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б., Подлазов А.В. Нелинейная динамика: Подходы, результаты, надежды/ Изд.степеотип. – М.: URSS, 2016. – 280 с. – (Синергетика: от прошлого к будущему. №28)
10. Тихонов, А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1974. – 224 с.
11. Кнут, Д. Искусство программирования для ЭВМ: Т.2. Получисленные алгоритмы. – М.: Мир, 1977. – 728 с.
12. Самарский, А. А., Попов Ю.П. Разностные схемы газовой динамики. – М.: Наука, 1975. – 352 с.
13. Режимы с обострением. Эволюция идеи: Законы коэволюции сложных структур/ Сборник статей/ Ред. Г.Г.Малинецкий. – М.: Наука, 1998. – 255 с. – (Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения)
14. Платонов, А. К. Проблемы и перспективы робототехники/ Будущее прикладной математики. Лекции для молодых исследователей. – М.: Эдиториал УРСС, 2005. С.315 342.
15. Лем, С. Библиотека XXI века. – М.: АСТ, 2003. – 602 с. – (Philosophy)
16. Малинецкий, Г. Г. Риски цифровой реальности/ Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности. Вып.2. – М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2019. С.228-249.

References

1. Schwab K. Shaping the fourth industrial revolution. Portfolio Penguin, 2018.
2. Decree of the Government of the Russian Federation of July 28, 2017 #1632-r. Programma "Cifrovaja ehkonomika Rossijskoj Federacii".
3. Vvedenie v kriptografiju.Ed. V.V.Jashhenko. MCNMO, 2000.
4. Komarov M. M. Fizicheskoe proektirovanie submikronnykh SBIS. Problemy, zadachi, algoritmy. Budushhee prikladnoj matematiki: Lekcii dlja molodykh issledovatelej. Ot idej k tekhnologijam. KomKniga, 2008.
5. Vladimirov V.A., Vorobev Yu.L. et al. Upravlenie riskom. Risk, ustojchivoe razvitie, sinergetika. Nauka, 2000.
6. Turing A.M. (1950) Computing machinery and intelligence. Mind LIX(236), pp. 433–460.
7. Lee K. F. AI Superpowers: China, Silicon Valley, and the New world order. – Houghton Mifflin Harcourt, Boston New York, 2018.
8. Knyazyatov S.A., Malinetskiy G.G. The solution of the problem of bluff detection in the game "I-doubt-it" based on reinforcement learning// KIAM Preprint. 2018, #170. [In Russian]
9. Malinetskiy G.G., Potapov A.B., Podlazov A.V. Nelinejnaja dinamika: Podkhody, rezul'taty, nadezhdy. URSS, 2016.
10. Tikhonov A.N., Arsenin V.Ya. Metody reshenija nekorrektnykh zadach. Nauka, 1974.
11. Knuth D.E. The art of computer programming: Vol.2. Seminumerical Algorithms. Addison-Wesley, 1969.
12. Samarskiy A.A., Popov Yu.P. Raznostnye skhemy gazovoj dinamiki. Nauka, 1975.
13. Rezhimy s obostreniem. Ehvoljucija idei: Zakony koehvoljucii slozhnykh struktur.Ed. G.G.Malinetsiy. Nauka, 1998.
14. Platonov A.K. Problemy i perspektivy robototekhniki/ Budushhee prikladnoj matematiki. Lekcii dlja molodykh issledovatelej. URSS, 2005. P.315 342.
15. Lem S. Weapon systems of the twenty first century or the upside-down evolution. 1983.
16. Malinetskiy G.G. The risks of digital reality. Proektirovanie budushhego. Problemy cifrovoy real'nosti. Is.2. KIAM, 2019. P.228-249. [In Russian]

Received: 07.02.2020

Поступила: 07.02.2020