

УДК 519.21

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО НЕПРИВОДИМЫЕ СИСТЕМЫ И ПУТИ ИХ
ИДЕНТИФИКАЦИИ**

В. И. Большаков, д. т. н., проф., Ю. И. Дубров, д. т. н., проф.

*ГВУЗ "Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры"*

Однако не существует логического пути открытия этих элементарных законов. Единственным способом их постижения является интуиция, которая помогает увидеть порядок, кроющийся за внешними проявлениями различных процессов.

А. Эйнштейн

В самом начале этой работы, мы хотим напомнить известную истину "существование человечества в целом и каждого его представителя в отдельности, связано с осуществляемым им осознанным или подсознательным моделированием всего того, что его окружает. С подобным представлением о влиянии процесса моделирования на наше бытие, мы не можем не согласиться, так как любая ситуация, в которой мы оказываемся, моделируется нашим разумом, с интуитивной, а порой и осознанной оценкой последствий, которые создаёт эта ситуация. Всё сущее, объекты, которые мы создаем или наблюдаем, научные теории, которые мы создаем или изучаем, всё это сводится в нашем сознании к синтезу специфических моделей, с последующей экстраполяцией тенденций их развития. Мы предполагаем, что в процессе эволюции человека, его сознание совершенствует создаваемые им модели ситуаций, способствуя перманентному росту его интеллектуальной мобильности.

В среде учёных, существует негласное соглашение, которое подтверждается словами А. Эйнштейна, приведенными нами в эпиграфе к данной работе, которое подтверждает, что в процессе научных изысканий, выбор окончательного вида модели, возлагаться на человека и выбор этот, часто осуществляется интуитивно.

Большинство объектов моделирования можно рассматривать как такие, для которых математические модели создаются с целью решения экстремальных задач. Не останавливаясь на задачах различной сложности, особо отметим те, в которых исходные параметры – случайные числа, эти задачи вызывают особый интерес, поскольку, в большинстве своём, они направлены на исследование систем, с относительно большим числом переменных, сильно взаимосвязанных между собой, часть из которых изменяется случайным или непредсказуемым образом. *Как правило, этим системам присуща такая сингулярность, как их вычислительная неприводимость (ВН), которую мы трактуем как свойство системы, заключающееся в непредсказуемости численных значений её функции цели* [1; 2]. Необходимость идентификации ВН

систем, возникала у исследователей, в связи с актуальностью решения актуальных задач (см. например [3]).

О ВН, стали говорить после открытия Э. Лоренцем, так называемой "атмосферной карусели", существование которой, приводит к непредсказуемости прогноза погоды [4]. Специфика, этого явления, заключается в том, что, в силу разности температур в верхних и нижних слоях атмосферы, движение её воздушной массы, по и против часовой стрелки – неустойчивы. В результате, эта карусель "дергается" в разные стороны. Моменты изменения направления вращения воздушной массы, случайны¹. Напрашивается вывод, подтверждающий известную гипотезу С. Уолфрема [1; 2]. Согласно этой гипотезе, некоторые процессы, при моделировании которых наблюдаются трудности в их идентификации², описываются только неприводимыми алгоритмами, результаты которых невозможно предсказать, не выполнив их полностью.

Мы утверждаем, что ВН обладают многие объекты. Например, структура металлов, которая при абсолютно одинаковых начальных условиях изменяется от опыта к опыту, что свидетельствует о том, что анализируемой системе присуще свойство ВН, а соответственно и *глобальной неустойчивости*, хотя статистические характеристики у этих структуры, одинаковые. Вследствие этого, при существующем в материаловедении большом количестве работ, направленных на определение качества металла, основанных на анализе его структуры, в силу ВН этой структуры, качество металла, определяют, чаще всего на основании анализа предыстории его получения.

В качестве примера, на рисунке 1 приведены фотографии шлифов, отображающих в заданном масштабе структуру исследуемого металла (сталь 16Г2АФ). Как видно из этих снимков, при одинаковых начальных условиях производства одного и того же металла³ и при одинаковых условиях получения изображений его шлифов, не прослеживается достаточная, для детерминированного анализа, сходимость этих изображений. Вследствие этого, в условиях производства, идентификация механических свойств, например, стали, как правило, осуществляется на основании визуальной оценки снимков её шлифов, минуя дорогостоящие механические и другие испытания, с присваиванием металлу механических свойств, близких к тем, которые были получены ранее.

Другим примером может служить система, характеристика которой приведена в работе [5], опубликованной еще в 1905 г. В этой работе Г. А. Лоренц опубликовал данные по анализу одной из бильярдных задач, которая позднее получила название двумерного газа Лоренца. Суть задачи состоит в том, что из некоторой точки на плоскости, в определенный момент времени, в направлении круглых отражателей, находящихся на бильярдном столе, выбрасываются упругие шарики (рис. 2). Достигнув одного из отражателей, шарик отскакивает по закону "угол падения равен углу отражения". Траектории шари-

1 Такое движение получило название странный аттрактор Лоренца.

2 Хаотические турбулентные течения, вихри в атмосфере, экономические системы, биологическая эволюция и т. д.

3 Химический состав и технологические режимы.

ков вышедших под близкими углами, быстро расходятся, их направления становятся случайными, и они заполняют все поле стола бильярда.

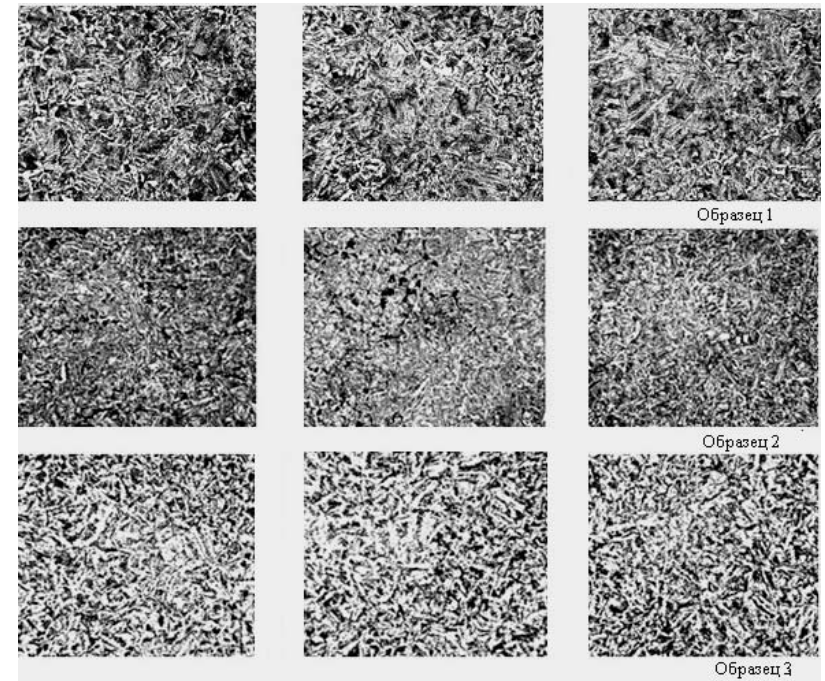


Рис. 1. Фотографии шлифов, отображающих структуру исследуемого металла (сталь 16Г2АФ)

Теоретически доказано, что после третьего соударения траектория отражающегося шарика—непредсказуема [6], а это означает, что си система ВН и справедливо её трактование, как *глобально неустойчивой*. Число шаров существенной роли не играет.

На основании теоретических исследований и проведенных экспериментов [6; 7], *утверждается, что глобальная неустойчивость этой системы, имеет место даже тогда, когда на бильярдном столе находится только один шар, при условии, если хотя бы одна из стенок бильярдного стола выпукла внутрь*. Становится очевидным, *глобальная неустойчивость* приводит к тому, что поведение системы делается хаотическим и все фазовое пространство заполняется равномерно. На имитационной модели бильярда [7] проводились эксперименты, которые вызвали идею применения данной модели в качестве генератора случайных чисел (ГСЧ). Для этого, в алгоритме, имитирующем бильярдную задачу, была предусмотрена возможность разбиения бортов бильярдного стола на ячейки, под заданными номерами, например

изменяющимися от 1,0 до 10^4 с заданным шагом. В каждую ячейку записывается, по нарастанию произвольное число, например от 0,0 до 1,0. В моменты попадания шара, движущегося по бильярдному столу, в какую либо ячейку, число, которое в ней записано, и его порядковый номер, заносятся в память компьютера, что способствует построению графика подобного тому, который приведен на рисунке 3.

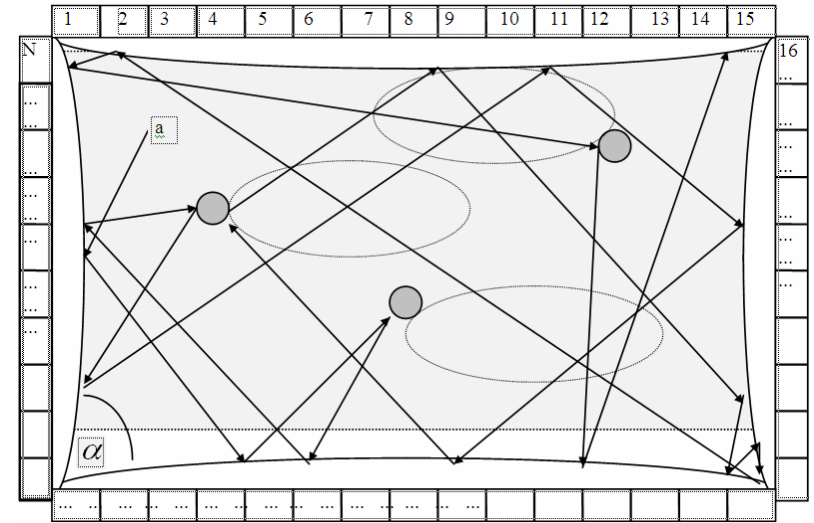


Рис. 2. Модель бильярдной задачи

При этом, так казалось ранее исследователям, для придания “большей хаотичности”, в условия опыта была включено изменение радиуса отражающегося шара; изменения радиуса кривизны бортов стола бильярда; движение шаров-отражателей по заданным траекториям, которые на рисунке 2 показаны пунктиром. Проведенные эксперименты показали, что включение выше названных особенностей одновременно, или каждой особенности, по отдельности, приводило к тому, что исследуемая система, через некоторое число итераций, вместо ожидаемого повышения её стохастичности из ВН, превращалась в вычислительно приводимую (ВП) систему¹.

Результат одного из экспериментов, в котором, роль отражающегося шара, играл луч, устанавливаемый под произвольно заданным углом к бортам

¹ Предполагалось, что изменение стохастичности системы можно количественно охарактеризовать отрезком времени, за которое начальный угол расхождения траекторий становился, например, величиной порядка 1 рад. Чем меньше время расхождения, тем движение более неустойчиво, т.е. система более стохастично.

бильярдного стола, а в качестве круглого отражателя назначалась любая из четырёх стенок бильярда, вогнутая внутрь, показан на графике рисунка 3. Из графика, рисунка 3 видно, что при произвольно заданных начальных условиях опыта, с некоторого момента наблюдалось повторение последовательности выбиваемых отражающимся шаром чисел, записанных в ячейках. Как это видно из графика рисунке 3, левая его половина представляет поле равномерно распределенных точек. Вторая половина, это аттрактор¹, появление которого свидетельствует о преобразовании ВН системы в ВП систему, это установившейся, поддающийся аппроксимации режим движения. Это происходит, когда траектория движения изображающей точки замыкается в отдельной области, выйти из которой она уже не может.

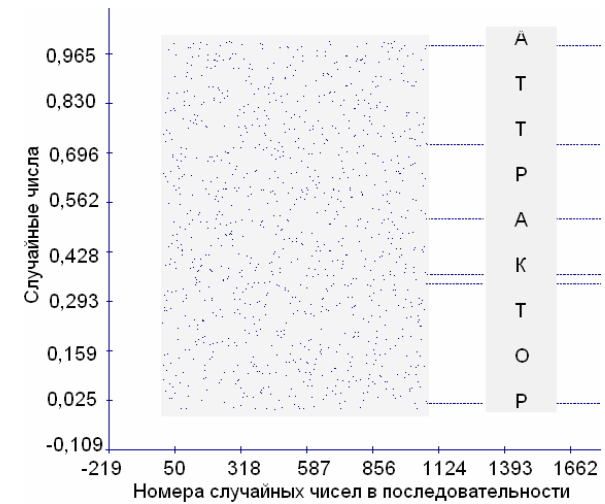


Рис. 3. Графические результаты эксперимента

Теорема. При установившемся режиме в нелинейной среде ВН система всегда выходит на аттрактор.

Доказательство. Если, в нелинейной среде, траектория движения ВН системы замыкается в отдельной области, то выйти из неё она уже не сможет.

Например, незначительно изменяя величину начального угла отражения, под которым первоначально посылается изображающая точка, или, изменяя кривизну отражающей стенки бильярда, или изменяя и то и другое одновременно, мы, после некоторого количества итераций, наблюдаем выход системы на аттрактор, представляющий предельный цикл.

¹ Аттрактором (от лат. attractor - притягатель) называется установившийся режим движения. Он притягивает соседние переходные режимы.

Чувствительность, к начальным условиям проявляемая при возникновении странного аттрактора¹ известна в синергетике под названием эффекта бабочки². С эффектом бабочки, связаны проблемы, возникающие со среднесрочным (на несколько недель) прогнозом погоды. *Ученые столкнулись с тем, что совершенствование математических моделей, использование компьютеров с большим быстродействием и памятью, разработка новых численных методов не позволяют получить эффективную методику прогноза.*

Естественно считать, что чем больше размерность задачи и пределы, в которых изменяются переменные, тем больше число состояний исследуемой системы и тем более сложным может оказаться ее поведение.

Однако это не всегда так. На рисунке 4 показан процесс возникновения странного аттрактора в одном из экспериментов, в котором четыре борта бильярдного стола перманентно изменяли свою эллиптичность. Выделенная на графике рисунка 4 область, сохраняла свой объем, хотя сложным образом она изгибалась и растягивалась.

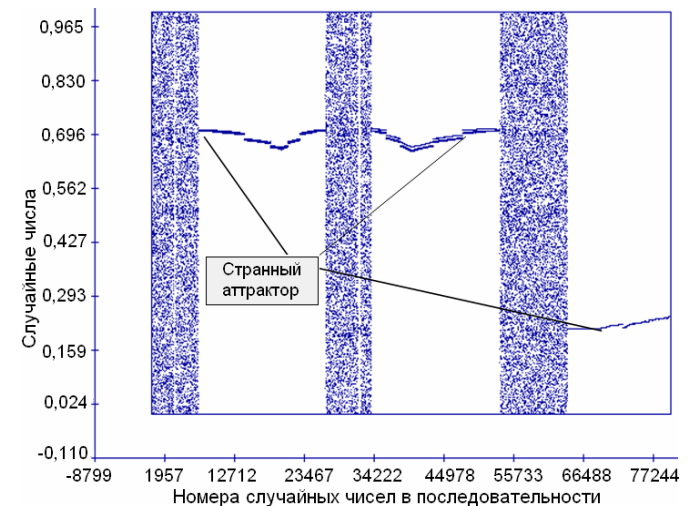


Рис. 4. Процесс возникновения странного аттрактора

1 Аттракторы, отличные от состояний равновесия и строго периодических колебаний, называют странными аттракторами. Усредненные характеристики режима колебаний устойчивы и не зависят от начальных условий.

2 Один фантаст описал ситуацию, в которой главный герой, с помощью машины времени попал в далекое прошлое и там случайно раздавил бабочку. Возвращаясь обратно, он находит, что все, вплоть до устройства общества, кардинально изменилось. В нелинейной среде малые причины приводят к большим следствиям.

Фазовый объем непрерывно уменьшался, т. е. число состояний, в которых может находиться система, становилось меньше. *Это свойство называют диссипативностью¹ и утверждают, что оно является признаком самоорганизации. Модели процессов экологии, химических реакций, развития экономики, а также сотен других процессов и явлений приводит к диссипативным системам.*

Свойство «странности», т.е. непредсказуемости, в странном аттракторе имеется. К таким системам относятся все игры, ход дальнейшего развития которых предсказать невозможно. *Вероятно, популярность азартных игр заключается в том, что они имитируют процесс генерации ценной информации, ценность которой, растёт по мере уменьшения вероятности её возникновения. В данном контексте под ценной информацией понимается предсказание хода событий.*

В связи с выше изложенным отметим:

ВН системы наблюдаются тогда и только тогда, когда эта система находится в нелинейной среде и не взаимодействует с какой либо другой системой;

ВН системы происходят в силу неполноты её формальной аксиоматизации [8; 9];

ВН системы, поддаются описанию только неприводимыми алгоритмами [2].

Особо следует отметить, что, как бы не были развиты методы имитационного моделирования, всегда существуют процессы столь сложные, что они не поддаются изучению этими методами. Идентификация подобных систем, может производиться путём обращения к литературе и искусству, поскольку только разум и интуиция человека, способны отобразить возможные нюансы, происходящие с системой. В этой связи, промежуточным звеном, при идентификации ВН систем, является процесс создания гипотез о возможном их поведении, в различных ситуациях. Формирование гипотез, способствует созданию гипотетической модели ВН системы (см. например [10]). Поскольку, все эти действия возлагаются на исследователя, то на него же возлагается и формулирование эвристических процедур, которые предназначаются для достижения необходимого правдоподобия выдвинутых гипотез. Для каждой системы выдвигаются соответствующие только ей гипотезы и соответствующие им эвристические процедуры. Тем не менее, *существует перечень основных гипотез, которые включаются в анализ практически любых систем, это гипотезы: потенциальной опровержимости математического описания; подтвержденности математического описания; простоты математиче-*

¹ С этим мы не можем согласиться и содержание нашего несогласия можно найти в ряде работ (см. например [12]), в которых показано, что система переходит на аттрактор не потому, что она “приняла решение” самоорганизоваться, а потому что она, под влиянием внешних сил, от неё независимых, попала в ситуацию, которая ввела её в аттрактор. Самоорганизующимся системам присуще качество диссипативности, но диссипативным системам не обязательно присуще свойство самоорганизации.

ского описания; красоты математического описания; объясненности математического описания.

В качестве примера, формирования гипотетической модели системы, и её исследования, рассмотрим ход формирования гипотез и эвристических процедур, при выборе одной из многих гипотетических моделей [10], полученных на основании анализа данных приведенных в работе [11]. Этот пример представляет особый интерес, поскольку в нем исследуется процесс перманентного уничтожения человечества, на протяжении всего времени его существования, до полного его истребления. Количества приведенных в работе [11] данных, недостаточно, для того, чтобы их выборка¹ была репрезентативной², с позиций математической статистики. Такие свойства присущи большому количеству социальных задач и задач экологического прогнозирования, объекты которых, мы условно принимаем как ВН.

Именно этот факт инициировал в качестве примера задачу, которая из соображений практической полезности может претендовать на некоторую общность. Это задача прогноза вероятных сроков наступления глобальной катастрофы, типа ядерной. Ученые предсказали, что если, например, не дай то Бог, произойдет подобная катастрофа, то она немедленно унесет более чем 11×10^8 человеческих жизней. Проследим хронологию страшного процесса уничтожения себе подобных, для того, чтобы определить тренд этого процесса.

Число людей, погибших при различных событиях и войнах.

Сожжено инквизицией в XII - XVII вв. 9×10^6

Убито в качестве жертв в государстве ацтеков в XIV-XV вв. 5×10^6

Наполеоновские войны 37×10^5

Истреблено армян в Турции в 1909–1918 гг. 15×10^5

Первая мировая война 1914–1918 гг., погибло в боях 10^7

Первая мировая война, погибло от химического оружия 10^5

Убито гитлеровцами гражданского населения в 1933–1945 гг. 9×10^6

Вторая мировая война 1935–1945 гг., погибло в боях 476×10^5

Гибель от голода в блокадном Ленинграде $641,8 \times 10^3$

Бомбардировка Дрездена, февраль 1945 г. 135×10^3

Бомбардировка Токио, март 1945 г. 83×10^3

Атомная бомба, сброшенная США на Хиросиму в августе 1945 г.

(14,6 килотонн): убито 78×10^3 , ранено 273×10^3

Атомная бомба, сброшенная США на Нагасаки 9 августа 1945 г.

¹ Отобранное из большого количества каких-либо данных достаточное их количество, отражающее качество совокупности.

² Репрезентативность (фр. *representatif*- представительность).

(21 килотонна): убито $23,8 \times 10^3$, ранено $112,4 \times 10^3$

Убито в Индонезии после попытки вооруженного переворота, 1965–1966 гг. 10^6

Уничтожено во время “культурной революции” в Китае 10^7

Погибло в конфликтах после 1945 г. 20×10^6

Потенциальный ядерный конфликт, немедленная гибель 11×10^8 .

Построим аппроксимирующую кривую для переменных: X – годы; Y – суммируемое по годам количество погибших, что позволяет получить гипотетическую закономерность, представляемую этой кривой и соответствующим ей уравнением.

В результате аппроксимации по выше приведенным данным было получено свыше 3000 уравнений. С использованием известных статистических критериев, часть этих уравнений была исключена из рассмотрения. Адекватными оказались две группы уравнений вида (1) и (2):

$$Y = a + b \cdot \exp(-x/c) \quad (1)$$

$$Y = 4an / (1+n)^2, \text{ при } n = \exp(-(x-b)/c). \quad (2)$$

Общий вид аппроксимирующих кривых, показан на графиках рисунков 5 и 6. График 5 мы относим к «пессимистическому» прогнозу, поскольку экспоненциальная кривая устремляется в бесконечность и на ней не просматривается момент прекращения процесса уничтожения людей. График 6 мы относим к «оптимистическому» прогнозу, поскольку из этого графика следует, что процесс уничтожения людей идет с нарастанием и, достигая максимума в точке А начинает монотонно убывать пока не достигнет некоторого предела. Если изменить масштаб кривой на рис 6 так, чтобы увидеть точку ее пересечения с координатой $Y = 11 \times 10^8$, характеризующей количество возможных жертв, при глобальной ядерной катастрофе, то, согласно графику 7, с вероятностью 0,9 эта координата может быть достигнута на интервале 2275÷2387 годы. Пунктирная кривая на этом графике, это интервал, в котором может находиться момент наступления этого события. Используя приведенные выше эвристические гипотезы произведем выбор единственной модели из моделей претендентов, наилучшим образом соответствующей исследуемому процессу.

а) *Потенциальная опровержимость* математического описания.

Напомним, что по этой эвристической характеристике за более адекватное математическое описание принимается такое, вероятность опровержения которого выше. С этих позиций первая аппроксимация наиболее предпочтительна, поскольку данная математическая модель описывает наиболее малый интервал времени. Этот факт вселяет надежду на то, что со временем будет получена новая, более точная модель и пессимизм, инициированный видом этой кривой, трансформируется в оптимизм.

б) *Подтвержденность* математического описания.

С позиций этой эвристической процедуры математические модели, приведенные на графиках рисунков 5 и 6 равноправны.

с) *Правило простоты.*

Графическое представление данных моделей подтверждает тот факт, что первая модель проще, поскольку, «ближе» к прямой линии, чем вторая, а «язык» прямых линий более привычен, более распространен в практике и естественно более прост.

д) *Правило красоты.* Как указывают некоторые литературные источники, это правило применял в своих работах А. Эйнштейн.

Опираясь на тезис «что проще, то и красивее» принимаем, что первая модель красивее второй¹.

е) *Гипотеза объясненности.*

Эта гипотеза порождает необходимость описания механизма моделируемого явления. Исследования механизмов явлений, представляют собой как бы мысленную проверку гипотезы, мысленный эксперимент ее подтверждающий.

Механизм явления, представленный графиками рисунков 5 и 6 очевиден, он объясняется тем, что на протяжении всего времени существования человечества² огромные разрушительные силы находятся во власти людей, разум которых настолько несовершенен, что они еще не всегда умеют рационально разрешать экономические и идеологические конфликты, не прибегая для этих целей к оружию.

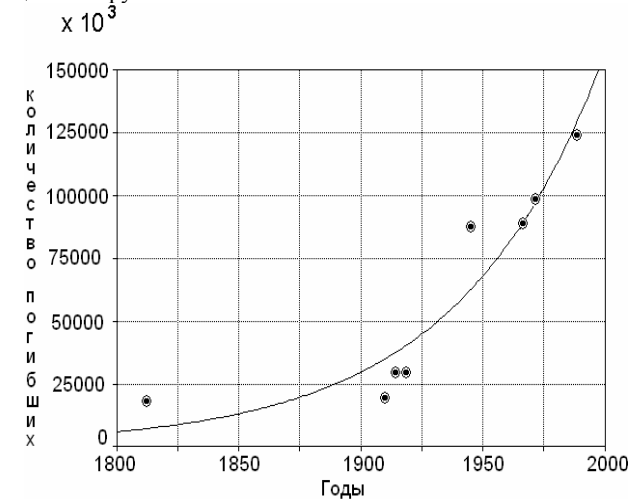


Рис. 5. Интерпретация механизма моделируемого явления

¹ Допускаем, что данный тезис можно оспаривать, поскольку для многих исследователей S-образная кривая, может являться более предпочтительной с позиций симметрии.

² Особенно в наше время.

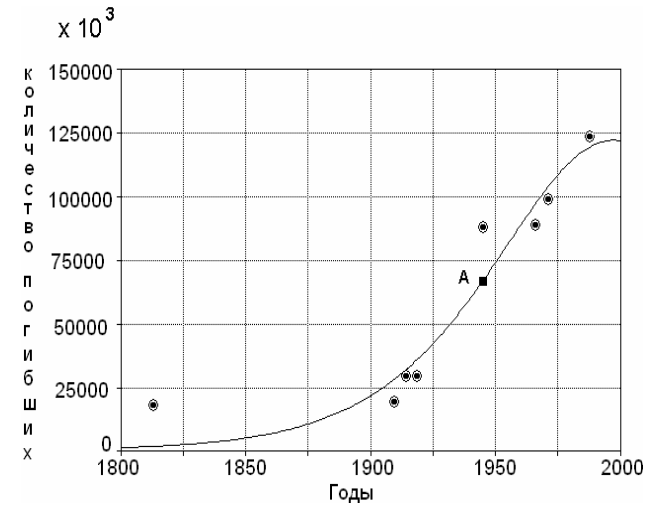


Рис. 6. Интерпретация механизма моделируемого явления

Мысленные эксперименты, объясняющие более обнадеживающий, оптимистический прогноз, представленный на графике рисунка 6, более многочисленны, однако, с нашей точки зрения, менее вероятны. Покажем это.

1-й мысленный эксперимент. Ход событий, представленный на рисунке 6, может быть также объяснен возможным природным катаклизмом, в результате которого человечество может потерять способность осуществлять агрессию. Это может случиться, например, при столкновении Земли с соизмеримым по массе космическим телом. В результате жизнь на нашей планете может исчезнуть. Как утверждают ученые-астрофизики, вероятность такого события чрезвычайно мала.

2-й мысленный эксперимент. Это техногенный катаклизм, в результате которого человечество так же, как и в первом мысленном опыте, может потерять способность совершать агрессию. Такой катаклизм мог бы, например, произойти вследствие одновременного выброса в атмосферу отравляющих веществ большинством существующих производств. Вероятность такого события также чрезвычайно мала, поскольку требует или одновременного выполнения террористических актов в различных, далеко друг от друга удаленных участках Земли, или реальности 1-го мысленного опыта.

3-й мысленный эксперимент. Это ядерный конфликт. Вероятность такого события, к великому сожалению, остается относительно высокой. Мы, в данном контексте, не будем обсуждать столь очевидный и в то же время сложный вопрос, поскольку на фоне этого обсуждения может потеряться основная парадигма излагаемой здесь идеи.

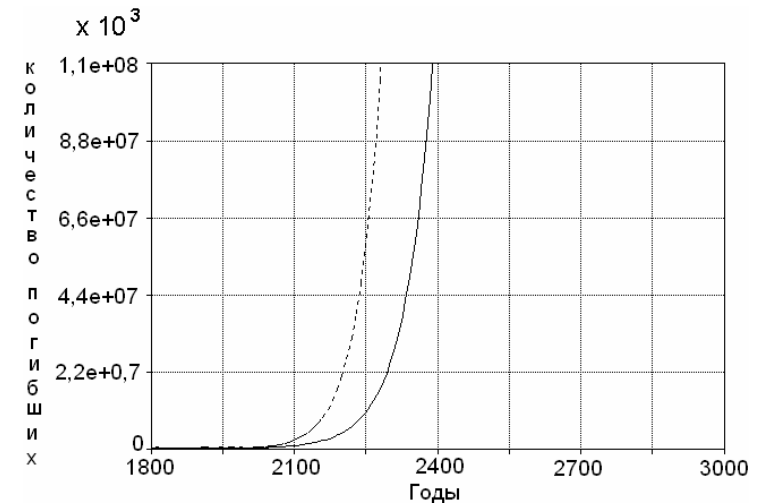


Рис. 7. Интерпретация механизма моделируемого явления

4-й мысленный эксперимент. Ход событий, представленный графиком рисунка 7, может быть объяснен потенциально возможным истреблением всего арсенала оружия, имеющегося у всех государств Мира. Нереальность выполнения этого условия очевидна из-за длительности процесса уничтожения этого оружия с одной стороны и из-за того, что в парламентах почти всех стран мира есть лица, которые, образно говоря, хотели бы «... помыть сапоги в Индийском океане...». До тех пор невозможно будет договориться государствам между собой, пока к власти приходят неумные, иногда психически неуравновешенные, или бездуховные и алчные люди. Но если даже предположить фантастический случай: государства Мира могут договориться между собой об уничтожении всего арсенала оружия массового уничтожения, то технология процесса истребления этого оружия настолько длительна, что при максимально возможном материальном и физическом вкладе всех стран Мира, этот процесс, по нашим очень приблизительным подсчетам, заняла бы не менее 70–80 лет.

Приведенные мысленные эксперименты аргументируют выбор первой модели, как наиболее точно описывающей исследуемое явление.

Из выше изложенного видно, что в зависимости от репрезентативности выборки представляющей статистическую информацию об уже свершившихся событиях, решение задачи экологического прогнозирования может идти по трем основным направлениям:

1. Традиционный способ, основанный на синтезе детерминированной модели, применяемый для прогнозирования относительно простых экологических систем (ЭС).
2. Способ прогнозирования, основанный на информационном подходе, включающий определение количества необходимой информации и испыта-

ний, увеличивающих доверительную вероятность прогноза до нужных значений.

3. Способ, основанный на синтезе и анализе *гипотетических* моделей, с использованием эвристических гипотез, применяемый в том случае, если выборка, на основании которой синтезируется математическая модель, нерепрезентативная, а провести дополнительные испытания, увеличивающие доверительную вероятность прогноза, не представляется возможным.

Литература

1. Stephen Wolfram. A New Kind of Science. Wolfram Media, Inc., 2002.
2. Большаков В. И. Пути решения задач идентификации качественных характеристик материалов на основе экспертных систем / В. И. Большаков, Ю. И. Дубров, А. Н. Ткаченко, В. А. Ткаченко //Доповіді НАНУ. – № 5. – 2006. – С. 100–103.
3. Дубров Ю. И. К вопросу об автоматической адаптационной оптимизации объектов со стохастическим дрейфом функции цели / Ю. И. Дубров, Д. С. Ковальчук // Кибернетика. – 1971. – № 4. – С. 112–119.
4. Lorenz E. N. I. Atmosph. – 1963. – V. 20. – P. 730.
5. Lorentz H.A. Proc. Amsterdam Academy. – 1905. – V.437. – № 7. – P. 585.
6. Синай Я. Г. Динамические системы с упругими отражениями / Я. Г. Синай // Успехи математических наук. – Т. 25. – Вып. 2 (1970).
7. Дубров Ю. И. Исследования имитационной модели «бильярдной задачи», а также ее применение в практике преподавания синергетики / Ю. И. Дубров // Матер. междунар. науч. конф. «Математика. Компьютер. Образование». – Дубна, 1998.
8. Доклады Академии наук СССР. – V. 262. – P. 799 (1982).
9. Известия Академии наук СССР. – V. 50. – P. 1140 (1986).
10. Дубров Ю. И. Информационная “бедность” задач экологического прогнозирования и некоторые пути ее разрешения / Ю. И. Дубров //Доповіді НАНУ. – № 1. – 2000. – С. 191–197.
11. Смирнов Н. Н. Экология биосферной катастрофы / Н. Н. Смирнов // М. : Знание, 1988.
12. Большаков В. И. «Самоорганизация материала» как процесс детерминированной адаптации / В. И. Большаков, Ю. И. Дубров // Доповіді НАНУ. – № 5. – 2004. – С. 97–104.

УДК 519.21

Вычислительно неприводимые системы и пути их идентификации / В. И. Большаков, Ю. И. Дубров // Металознавство та термічна обробка металів : науков. та інформ. журнал / Д. : ДВНЗ ПДАБА, 2014. - № 1. - С. . – Рис. 7. – Бібліогр.: (12 назв).

В работе рассмотрены пути решения задачи экологического прогнозирования с применением: 1. Традиционного способа для прогноза простых экологических систем, основанного на синтезе детерминированной модели. 2. Способа прогнозування, основанного на інформаційному підході. 3. Способа, приймаємого в особих случаях, основанного на синтезе и анализе гипотетических моделей, с использованием эвристических гипотез.

В роботі розглянуті шляхи вирішення задачі екологічного прогнозування з використанням: 1. Традиційного способу для прогнозу простих екологічних систем, заснованого на синтезі детермінованої моделі. 2. Способу прогнозування, заснованого на інформаційному підході. 3. Способу, що застосовується в особливих випадках, заснованого на синтезі та аналізі гіпотетичних моделей, з використанням евристичних гіпотез.

The article discusses ways to solve the problem of ecological forecasting using: 1. The traditional method for the prediction of simple environmental systems, based on a synthesis of deterministic model. 2. Prediction method based on the information approach. 3. Method are applied in special cases, based on the synthesis and analysis of hypothetical-ray models using heuristic hypotheses.