

УДК 16:62

DOI 10.15372/PS20250102

EDN DPTRAG

И.Р. Скиба**РЕАНИМАЦИЯ «ДЕМОНА ЛАПЛАСА»**

В статье осмысливается проблема свободы воли с позиций детерминизма и демонстрируется состоятельность «демона Лапласа» в контексте прогнозирования динамики состояний систем со сложным поведением на примере клеточного автомата.

Ключевые слова: свобода воли; детерминизм; «демон Лапласа»; клеточные автоматы; игра «жизнь»; вычисления; теория множеств

I.R. Skiba**RESUSCITATION OF LAPLACE'S DEMON**

The paper comprehends the problem of the free will in terms of determinism and demonstrates the consistency of Laplace's demon in the context of predicting the dynamics of the states of systems with complex behavior using the example of cellular automata.

Keywords: free will; determinism; Laplace's demon; cellular automata; the game of Life; computations; set theory

В контексте философии проблема свободы воли с давних времен является одной из наиболее дискуссионных. В нынешнюю эпоху наличествует большое количество концептуальных позиций по данному вопросу – как инкомпатибилистских, так и компатибилистских. Сторонники первых утверждают, что детерминизм несовместим со свободой воли, сторонники вторых имеют противоположное мнение. Крайностями здесь являются метафизический либертианизм, с неиз-

бежностью подразумевающий наличие свободы воли, и жесткий детерминизм, полагающий ее совершенно излишним, иллюзорным феноменом. В рамках же данной работы мы, не слишком сильно углубляясь в чисто теоретическую подоплеку заявленной проблематики, постараемся на некоторых примерах показать многогранность феномена детерминизма и, образно говоря, продемонстрировать поведенческие паттерны «демона Лапласа».

Для начала целесообразно разобраться с тем, что вообще представляет собой этот «демон». Сам Лаплас обосновывал это как «разум, которому в каждый определенный момент времени были бы известны все силы, приводящие природу в движение, и положение всех тел, из которых она состоит, и будь он также достаточно обширен, чтобы подвергнуть эти данные анализу, то смог бы объять единым законом движение величайших тел Вселенной и мельчайшего атома; для такого разума не было бы ничего неясного и будущее существовало бы в его глазах точно так же, как прошлое» [3, р. 259]. То есть здесь речь идет о некотором «идеальном вычислителе», способном предсказать следующее состояние системы на основе данных о ее предыдущем состоянии. И основным философским вопросом здесь было следующее: возможен ли подобный «демон» или же невозможен?

Сам Лаплас в стремлении к формированию такого «вычислителя» видел цель науки вообще и, будучи убежденным сторонником каузального детерминизма, не усматривал никаких теоретических препятствий на пути его реального воплощения. Аргументация же сторонников представления о невозможности воплощения подобного изначально могла быть подкреплена только лишь метафизическими обоснованиями наподобие известного парадокса о предсказании будущего на две минуты вперед за одну минуту, в контексте которого должна была бы содержаться информация о следующем предсказании, в котором бы содержалась информация о следующем и так далее до бесконечности. Однако же с появлением квантовой механики научному сообществу стало понятно, что Вселенная может быть устроена по законам и принципам, не вполне соответствующим нашему интуитивному пониманию здравого смысла. В фундамент аргументации противников идеи о возможности «тотальной вычислимости» был положен принцип неопределенности Гейзенберга, который в не-

сколько абстрагированном виде гласит, что с чем большей долей точности измеряется один из параметров какого-либо феномена, тем с меньшей точностью будет измерен другой (к примеру, координаты частицы и ее импульс). И на основе представления о невозможности точно измерить предыдущее состояние системы, было сформулировано утверждение о том, что невозможно идеально вычислить ее последующее состояние. А соответственно, «демон Лапласа» теоретически несостоятелен. Более того, на основе этого же принципа неопределенности из квантовой механики представление о феномене свободы воли получило мощное подкрепление в философии, базирываясь на том, что если невозможно найти точную, до известной степени механистическую причину актуального состояния системы, то имеет место еще что-то влияющее на переход от предыдущего состояния к последующему. И на ответственную роль этого самого «что-то» как нельзя лучше подходила именно свобода воли (неважно, какой именно природы), иначе «пазл не складывался».

В рамках настоящего исследования мы не станем особо акцентировать внимание на том факте, что существует множество состояний системы, которые являются легкообратимыми за счет реверсирования условий перехода от предыдущего состояния к последующему. Тем не менее здесь можно привести некоторые простые примеры. Допустим, как актуальное состояние системы у нас имеется целое неотрицательное число, например 8. Также прилагаются условия перехода в данной системе от одного состояния к другому: операция умножения, множитель 2 и умножаемое число, например n (в нашем случае – 8). Таким образом, предыдущее состояние системы легко восстанавливается за счет деления актуального состояния на 2 (с результатом 4). Также весьма интересные примеры предоставляет целая исследовательская область криптографии, а именно шифрование, которое целиком построено на наличии возможности отыскать предыдущее состояние системы. Наиболее тривиальный вариант – шифр Цезаря, в рамках которого при переходе от незашифрованного состояния к зашифрованному каждый символ сдвигается на определенное количество индексов в пределах используемого алфавита вкупе с использованием остатка от деления индекса на длину алфавита, а при дешифровке инструкция просто реверсируется. Подобных примеров можно привести огромное количество, но вывод здесь ясен: во

многих системах можно легко восстановить предыдущее состояние за счет реверсирования условий перехода. Однако так происходит далеко не во всех известных случаях.

И на данном этапе целесообразно указать на то, что в самой формулировке Лапласа о «демоне» (который сам он так, конечно, не называл) ничего не сказано о возможности вычислять прошлое с той же легкостью, что и будущее. И именно этот завуалированный аспект представляется нам в данном случае наиболее значимым. Более того, мы полагаем, что крайне высокая сложность или и вовсе невозможность вычисления предыдущего состояния системы совершенно не свидетельствуют о сложности или невозможности вычисления состояния последующего (о котором только и упоминается в процитированном выше обосновании). И здесь мы приведем пример и остановимся подробнее.

Один из наиболее известных клеточных автоматов – игра «жизнь», предложенная британским математиком Джоном Конвеем в 1970 г. [5]. Эта игра представляет собой двумерную сетку, состоящую из ячеек, которые могут находиться в одном из двух возможных состояний: живом или мертвом. Правила перехода от предыдущего состояния к последующему отдельно рассматриваются для каждой ячейки и формируют итоговый результат в виде целостного последующего состояния сетки. Правила такие:

- 1) для каждой ячейки в качестве ее непосредственных соседей рассматриваются клетки окрестности Мура по отношению к актуальной ячейке, т.е. ее ближайшие восемь соседей;
- 2) если актуальная клетка жива и живы более трех ее соседей, то клетка умирает от перенаселенности;
- 3) если актуальная клетка жива и живы менее двух ее соседей, то клетка умирает от одиночества;
- 4) если клетка мертва и живы ровно три ее соседа, то клетка рождается;
- 5) во всех остальных случаях клетка не изменяет своего состояния.

Из самой совокупности правил очевидно, что каждое последующее состояние сетки абсолютно логичным образом следует из предыдущего и вполне тривиально вычисляется. Дабы сосредоточить внимание не на визуальных эффектах (которые, несомненно, могут

быть весьма интересны), а на смысловой составляющей «жизни», мы будем использовать относительно малую размерность сетки, а именно 3×3 клетки, так как количество возможных перестановок уже в таких масштабах достаточно велико. Также оговорим, что мертвое состояние клетки у нас будет представлено числом 0, а живое – числом 1. И тоже очень важный момент: наша сетка не будет обладать свойством тороидальности, т.е. наш квадрат 3×3 нельзя будет свернуть в тор и у угловой клетки будет только три соседа. Для генерирования состояния сетки мы создадим множество возможных состояний за счет девятикратного декартова умножения последовательности из одного нуля и одной единицы (с начальным нулем). Это не является собой перебор всех возможных вариантов сетки, но также предоставляет достаточное количество материала для нашей задачи. Размер нашего множества будет равен 512 уникальным элементам, каждый из которых состоит из девяти клеток, представленных нулем или единицей. Для запуска игры нами будет выбираться случайный элемент из множества и подразделяться на три подэлемента, каждый из которых будет, соответственно, размером в три клетки.

Итак, допустим, у нас есть начальное состояние сетки, случайно выбранное из множества (рис. 1). И после однократного применения правил перехода оно, соответственно, превращается в состояние последующее (рис. 2), которое затем переходит в последующее (рис. 3), а затем в последующее (рис. 4). И так далее, до того возможного случая, когда сетка перейдет в некоторое статичное состояние (например, все нули), или до теоретически возможной бесконечности (очевидно, что не в нашем случае).

Здесь стоит сказать, что для каждого состояния сетки существует ровно одно возможное последующее состояние, т.е. каждое текущее

0	1	1
1	1	1
1	0	1

Рис. 1

1	0	1
1	0	0
1	0	1

Рис. 2

0	1	0
1	0	0
0	1	0

Рис. 3

0	0	0
1	1	0
0	0	0

Рис. 4

состояние интерпретируется строго однозначно и никак иначе. И в этот момент «демон Лапласа» функционирует совершенно идеально и вполне в соответствии со словами А. Шопенгауэра о том, что «каждый может поступать так, как желает, но в любой момент времени он может желать только нечто одно определенное и ничего другого, кроме этого» [2]. То есть сколько бы ни было возможных вариантов изменения системы, в каждый отдельно взятый момент вариант всего один и он легко вычислим при помощи, как уже говорилось, весьма тривиального алгоритма.

А вот если попробовать реверсировать условия перехода и на основе актуального состояния сетки вычислить ее предыдущее состояние, то нас ждет весьма интересный феномен: на данный момент не существует однозначного способа вычисления предыдущего состояния системы с подобными правилами перехода. Конечно же, это теоретически возможно для сеток малой размерности при помощи метода полного перебора, однако при увеличении размера сетки полный перебор становится несколько неактуален, так как асимптотическая сложность подобного алгоритма возрастает экспоненциально и, соответственно, «overkill» (полный перебор) может не закончиться вплоть до теоретической смерти Вселенной. Тем не менее существуют некоторые алгоритмы, позволяющий попытаться тем или иным способом вычислить предыдущее состояние сетки за относительно приемлемое время, и наиболее известны из них такие, как метод Вудса и метод Дюпарка [4, р. 187–203]. Каждый из этих методов имеет свои плюсы и минусы, функционирует на основе сепарации сетки на составляющие (клетки, квадраты клеток или «строки» клеток) и подбирает для них возможных предшественников, затем «склеивая» воедино получившиеся данные и используя возврат к пре-

дыдущему состоянию, если сетка не «склеивается». Также предыдущее состояние сетки может быть вычислено при помощи генетического алгоритма и некоторых иных. Само собой разумеется, что подобные алгоритмы являются весьма сложными, особенно по сравнению с алгоритмом вычисления последующего состояния сетки. Более того, алгоритмы вычисления предыдущего состояния сетки не гарантируют результат, и на этом моменте также следует немного задержаться.

Во множестве возможных состояний сетки присутствуют некоторые исключительные состояния, которые определяются как «сады Эдема» [1; 4; 6; 7]. «Сад Эдема» – это состояние сетки, у которого отсутствуют предшественники. К примеру, в рамках сформированного нами множества состояний сетки «садом Эдема» является конфигурация, представленная на рис. 5.

Таким образом, «сад Эдема» не может быть сформирован за счет применения правил перехода к какой-либо сетке, а может быть только лишь начальным ее состоянием (отсюда и название – созданный «из ничего»). Одним из критериев распознавания подобного состояния является наличие в рамках «сада Эдема» так называемого шаблона «сирота». «Сирота» представляет собой подмножество ячеек «сада Эдема», у которого, так же как и у всей сетки, отсутствует предыдущее состояние. Порой бывает алгоритмически довольно трудно распознать как «сад Эдема», так и «сироту», однако очевидно, что никакой сложности в переходе подобных состояний в последующее также не возникает.

Еще в рамках нашего множества наличествуют различающиеся состояния сетки, которые при переходе к последующему состоянию формируют множество состояний сетки с размером, равным единице,

0	1	0
0	1	0
0	1	0

Рис. 5

т.е. формируют одно и то же состояние сетки. Такие варианты называются «близнецами» и определяются как конфигурации, которые могут быть заменены друг на друга без «ущерба» для последующего изменения динамики состояний системы в целом. К примеру, в рамках нашего множества возможных сеток «близнецами» являются представленные на рис. 6–10 из неполного их перечня и некоторые другие.

Все вышеприведенные конфигурации сетки при применении к ним условий перехода формируют одно и то же последующее состояние (рис. 11). То есть каждая из этих сеток может быть заменена любой другой из этого же множества и последующие состояния сетки от этого несколько не изменятся. И здесь имеется еще один крайне интересный момент. А именно, если бы мы попытались вычислить

0	1	0
0	0	1
1	1	0

Рис. 6

0	1	0
0	0	0
1	1	1

Рис. 7

1	0	1
1	0	0
0	1	1

Рис. 8

1	0	1
0	0	0
1	1	1

Рис. 9

1	0	1
1	0	1
0	1	0

Рис. 10

0	0	0
1	0	1
0	1	0

Рис. 11

0	1	0
1	0	0
1	1	0

Рис. 12

0	1	1
1	0	0
1	1	1

Рис. 13

атавизера, т.е. предшественника, для последнего состояния сетки, то очевидно, что валидными могли бы оказаться сразу несколько вариантов – любой из них. Однако также является само собой разумеющимся, что у каждого последующего состояния сетки в каждый отдельный момент перехода был только один атавизер. То есть мы иногда в буквальном смысле неспособны точно вычислить конкретное состояние, предшествовавшее актуальному. Так бывает не всегда. К примеру, рассмотрим конфигурацию, представленную на рис. 12. В нашем множестве у данной сетки наличествует только один атавизер, который выглядит, как на рис. 13.

В определенном смысле не имеет никакого значения, какой именно атавизер из множества предшественников оказался «родителем» актуального состояния сетки. Мы всегда можем совершенно непротиворечиво утверждать, что любой атавизер по отношению к текущему состоянию лежит в конечном множестве возможных предшественников. Иногда размер этого множества равен единице, как в последнем примере, иногда – пяти, как в предпоследнем примере, но может быть любым целым неотрицательным числом, в качестве одного из вариантов – нулем, как в случае с «садами Эдема». Здесь может показаться, что если «демон» неспособен точно указать на атавизера, то сам «демон» несостоятелен и невозможен. Однако этот же «демон» всегда способен сказать, что атавизер лежит в множестве возможных атавизеров, а также указать размерность этого множества и вновь акцентировать внимание на том, что совершенно не имеет значения, какой именно атавизер оказался реальным предшественником в определенный момент системной динамики, поскольку каким бы он ни был – итог один и тот же. Здесь можно сказать, что это лишает нас возможности «вернуться к истоку», к тому самому «саду Эдема».

Однако это вовсе не так, мы всего лишь расширяем множество возможных атавизеров, и его размер также конечен, хотя и может быть огромным.

Опираясь на вышесказанное и несколько экстраполировав его смысл, мы можем предварительно заключить, что даже при неспособности «демона Лапласа» точно указать на конкретное предыдущее состояние системы он способен утверждать, что предыдущее состояние находится в рамках конечного множества возможных предшественников, каждый из которых в определенном смысле тождественен любому другому из этого же множества. То есть даже если мы и не способны точно выявить координаты частицы и ее импульс, мы можем утверждать, что совокупности всех возможных координат и импульсов находятся в пределах некоторого конечного множества и совершенно неважно, каким именно был конкретный актуальный вариант. Таким образом, мы полагаем, что ранее сделанное заявление о неспособности «демона Лапласа» вычислить прошлое не соответствует реальному положению вещей, так как «демон» способен указать на множество абсолютно тождественных в данном контексте вариантов предшествующих состояний, т.е. в известном смысле он способен восстанавливать прошлое вне зависимости от количества вариантов – множество в любом случае конечно. А соответственно, никакой свободы воли не нужно, для того чтобы «сошелся пазл» – он и так отлично складывается.

Неправомерность критики в отношении «демона Лапласа» касательно его аналитических способностей, направленных в прошлое, была нами рассмотрена только лишь по причине наличия этой критики, что само по себе являет собой корень неправомерности, так как в определении самого Лапласа не указывалось на то, что «демон» обязан уметь восстанавливать прошлое на основе настоящего, а отмечалась только возможность предсказывания будущего на основе данных о настоящем и о правилах перехода в рамках системы. И очевидным является то, что в случае с «жизнью» Конвея «демон» – идеальный прогнозист. Идеальность «демона» здесь, конечно же, обусловлена не только тем простым фактом, что размер множества возможных последующих состояний сетки всегда равен единице (как мы помним, так иногда может происходить и с размерностью множества атавизеров для актуального состояния), но еще и направленной ли-

нейностью самого контекста в игре. То есть игра Конвея линейна только в одном направлении – вперед. И потому здесь предсказание всегда однозначно и «демон» всегда идеален.

Однако известно, что таким образом функционируют далеко не все системы. И мы говорим о сложных нелинейных системах открытого типа, таких как погодные условия, колебания рынка, поведение толпы, спортивные игры и т.д. В подобных системах каждое последующее состояние весьма сложно спрогнозировать на основе информации о состоянии текущем. И это также можно смоделировать на примере «жизни», немного рандомизировав (т.е. добавив элемент случайности) оговоренные ранее условия. Как мы помним, одним из условий, определяющих возникновение живой клетки из мертвой, служит правило, согласно которому мертвая клетка становится живой при наличии ровно трех живых соседей. Теперь же, в контексте заявленной рандомизации условий, мы примем, что мертвая клетка становится живой при наличии случайного, каждый раз строго определенного числа соседей в диапазоне от нуля до четырех, а живая клетка может стать мертвой не только тогда, когда у нее соседей больше трех или же меньше двух, а еще и тогда, когда случайное число в диапазоне от нуля до четырех равно нулю.

И теперь при применении изменившихся условий к случайной сетке мы можем получить следующее. Сама сетка принимает вид, показанный на рис. 14. При переходе к следующему состоянию она может превратиться, допустим, в такую, как на рис. 15, или в такую, как на рис. 16, а может быть, и в такую, как на рис. 17. И так далее, вариантов каждого последующего состояния стало гораздо больше одного, и тем не менее в каждом конкретном случае реально существует только один из них.

1	0	1
0	1	0
1	1	0

Рис. 14

0	0	0
1	1	1
0	1	1

Рис. 15

0	0	0
0	1	0
1	1	0

Рис. 16

1	0	0
1	0	0
1	1	0

Рис. 17

Может показаться, что мы за счет рандомизации условий перехода сделали невозможным прогнозирование последующего состояния сетки. Однако это не так: мы всего лишь увеличили размер множества возможных последующих состояний с одного до нескольких. И тем не менее повторим, что в каждом конкретном случае конечный вариант будет всего один и по мере «прорисовывания» сетки множество будет планомерно сокращаться до тех пор, пока его размер не станет равен единице. То есть мы, по сути, несколько реверсировали нелинейную динамику «жизни» с направления в прошлое на направление в будущее, смоделировав тем самым псевдорандомную систему. И разница заключается только в том, что если при подборе аттавизеров для текущего состояния сетки все они были бы тождественны, то при переходе к следующему состоянию в их множестве «близнецы» не гарантируются. То есть они могут появиться, но нет никаких гарантий, что они появятся.

Однако система подобного рода была нами определена именно как псевдорандомная по той причине, что так называемая *случайность* – это всегда всего лишь недостаток информации. Последовательность случайных чисел в рамках вычислительной системы всегда имеет некую начальную точку, которую в случае именно с программными генераторами можно также задавать искусственно. Аппаратные же генераторы случайных чисел также имеют начальную точку, однако ее уже довольно сложно искусственно сформировать, поскольку она базируется на таких природных феноменах, как тепловой шум, квантовые эффекты и проч. И тем не менее это вовсе не представляется невозможным, так как в конечном итоге все сводится к наличию информации. Если знать заранее не просто то, что в условиях перехода заявлено случайное число, но также знать начальную точку

генерируемой последовательности и порядковый номер итерации, вкупе со всеми остальными условиями множество возможных последующих состояний априори имело бы размер, равный единице. И так для любой системы, сколь бы стохастической она ни была.

Таким образом, резюмируем, повторив, что случайность – это недостаток информации. Сколь бы многофакторными ни были условия перехода в рамках системы от предыдущего состояния к последующему, в любой системе, будь то игра «жизнь» или квантовые эффекты, множество аттавизеров всегда конечно и могут быть вычислены как его размер, так и его элементы. При переходе же к последующему состоянию системы размер множества возможных конфигураций всегда обратно пропорционален полноте информации об условиях перехода. То есть можно предположить, что свобода воли – совершенно избыточная фикция, а «демон Лапласа» жив и актуален.

Литература

1. *Гарднер М.* Загадки Сфинкса и другие математические головоломки. М.: УРСС; ЛЕНАНД, 2015. 304 с.
2. *Шопенгауэр А.* О свободе воли; Об основе морали. М.: АСТ, 2023. 448 с.
3. *De Laplace M. le marquis.* Essai philosophique sur les probabilités. Paris, 1825. 276 p.
4. *Essays on Cellular Automata* / Ed. by A.W. Burks. University of Illinois Press, 1970. 375 p.
5. *Gardner M.* Mathematical games: The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game «life» // Scientific American. 1970. Vol. 223, No. 4. P. 120–123.
6. *Margenstern M.* About the Garden of Eden theorems for cellular automata in the hyperbolic plane // Electronic Notes in Theoretical Computer Science. 2009. Vol. 252 (2). P. 93–102.
7. *Moore E.F.* Machine models of self-reproduction // Proceedings of Symposia in Applied Mathematics. 1962. Vol. 14. P. 17–33.

References

1. *Gardner, M.* (2015). Zagadki Sfinksa i drugie matematicheskie golovolomki [Riddles of the Sphinx and Other Mathematical Puzzle Tales]. Moscow, URSS Publ., Lenand Publ., 304. (In Russ.).
2. *Schopenhauer, A.* (2023). O svobode voli. Ob osnove morali [On the Freedom of the Will. On the Basis of Morality]. Moscow, AST Publ., 448. (In Russ.).

3. *De Laplace, M., le marquis.* (1825). Essai philosophique sur les probabilités. Paris, 276.
4. *Burks, A.W.* (Ed.). (1970). Essays on Cellular Automata. University of Illinois Press, 375.
5. *Gardner, M.* (1970). Mathematical games: The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life". Scientific American, Vol. 223, No. 4, 120–123.
6. *Margenstern, M.* (2009). About the Garden of Eden theorems for cellular automata in the hyperbolic plane. Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 252 (2), 93–102.
7. *Moore, E.F.* (1962). Machine models of self-reproduction. Proceedings of Symposia in Applied Mathematics, 14, 17–33.

Информация об авторе

Скиба Иван Рауфович – Институт философии Национальной академии наук Беларуси (Республика Беларусь, 000000, Минск, ул. Сурганова, 1, к. 2).
gonzodzen@mail.ru

Information about the author

Skiba, Ivan Raufovich – Institute of Philosophy, National Academy of Sciences of Belarus (1/2, Surganov St., Minsk, 220072, Republic of Belarus).
gonzodzen@mail.ru

Дата поступления 21.12.2024