УДК 303.732.4 : 530.12, 530.16, 515.14, 537.8

О феноменологической теории времени

Аверин Г.В.
Донецкий национальный университет
averin.gennadiy@gmail.com

Аверин Г.В. «О феноменологической теории времени». *Проанализированы отдельные положения геометрической модели пространства-времени в свете основных парадоксов специальной теории относительности (СТО): сокращение движущихся масштабов в направлении движения и замедление хода движущихся часов. Предложена модель описания четырехмерного пространства-времени, в котором логические парадоксы СТО отсутствуют. Показано, что при учете переменной эмпирического времени при переходе от «неподвижной» к «движущейся» системе координат и обратно могут использоваться преобразования Галилея, а не преобразования Лоренца. Раскрыты противоречия, которые касаются измерений времени и использования шкал времени при различных способах его определения. Показано, что наряду с геометрической моделью пространства-времени могут быть предложены и другие модели описания времени: статистическо-вероятностные, эмпирические и т.д. Введено понятие системного времени как комплексной характеристики, в целом характеризирующей состояние объекта (системы) при динамических изменениях и отражающей хроногенез естественных процессов, протекающих в конкретных объектах. Приведены определения и понятия и сформулированы основные положения феноменологической теории времени, отличающейся темпометрическим учетом изменений любых свойств объектов, а не только механических движений. Предложены способы построения шкал системного времени для различных классов объектов. На нескольких практических примерах показан процесс построения измерительных шкал и составлены уравнения состояний для нескольких случаев. Разработан способ сравнения процессов развития объектов во времени и пространстве нескольких переменных, а также соответствующая система измерения уровня и интенсивности воздействия на объекты. На основе расчетов с использованием темпоральных данных определены темпоральности естественных процессов, характеризующие воздействие внешней среды и влияние внешних и внутренних условий на объекты. Установлены эмпирические закономерности, которые могут иметь важное значение для развития научной методологии темпорологии. Сформулированы дифференциальные уравнения для описания поля времени в многомерном пространстве состояний. Предложенный подход позволяет сформировать обширную экспериментальную базу темпорологии, а также разработать вероятностно-статистические модели времени и от причинно-следственного порядка событий и их вероятностей перейти феноменологическим моделям. Вероятностно-статистические и эмпирические модели времени являются альтернативой существующим геометрическим моделям пространства-времени СТО.*

Ключевые слова: темпорология, феноменологические теории, эмпирическое и системное время, шкалы времени, вероятностная, геометрическая и эмпирическая модели, дифференциальные уравнения поля времени, примеры построения измерительных шкал и моделей времени.

Введение

Одна из самых актуальных проблем современной науки связана с феноменологическими исследованиями природы времени. Время в философии и физике основная категория и фундаментальное понятие. Разнообразие точек зрения, концепций, моделей и конструкций времени в современном научном знании не может не удивлять. Однако феномен времени остается такой же загадкой как и 2400 лет назад во времена Аристотеля.

Сегодня можно говорить, что существует геометрическая модель научной картины мира. Частными примерами являются науки специальная и общая теория относительности, геометродинамика, геометрофизика и т.д. Несмотря на то, что все эмпирические данные в том или ином виде являются темпоральными, так как отражают динамику изменения и развития объектов и систем во времени, пока нельзя говорить о существовании темпорологической модели научной картины мира. Однако понятно, что на первом этапе такая модель будет являться феноменологической.

Гейзенберг под «феноменологической» теорией понимал такую формулировку закономерностей, в которой наблюдаемые процессы и явления не сводятся к общим законам природы. В развитии науки феноменологические теории всегда играли значительную роль, так как опирались на опытные данные и являлись первым шагом на пути построения системно-феноменологических или фундаментальных теорий в различных областях естествознания.

Основные законы, отражающие природу времени, еще не известны, именно поэтому феноменологический подход может указать путь к поиску принципов и закономерностей темпорологии – науки, изучающей время и его свойства. На данном этапе ключевая проблема темпорологии – это отсутствие продуктивных идей в области изучения природы времени, которые основывались бы на представительных опытных данных, статистической информации или эмпирических фактах. В научных исследованиях наблюдается явное противоречие. Анализ многих работ, посвященных изучению времени, указывает на исключительное преобладание гипотетических и теоретических подходов, а также абстрактных моделей, которые слабо связаны с опытом. Сбору, обработке и анализу опытных данных в этой области уделяется существенно меньше внимания. Это видно из содержания информационных ресурсов темпорологии [1 – 3]. Без развития феноменологии предметной области нельзя получить адекватные и достоверные теоретические описания и модели.

Сегодня время в большинстве разделов физики представляется временной шкалой в смысле абсолютного времени Ньютона. В этом плане время выступает общим арифметизированным параметром свойств объектов и систем и не обладает собственными свойствами. Все физические модели строятся в детерминированной моделирующей среде на основе формулировки различных динамических теорий, где абсолютное время фундаментально. Практически можно говорить об использовании шкалы для измерения времени, которая не имеет опорных точек, является непрерывной и равномерной, а начало отсчета задается по соглашению в каждом конкретном случае. Такая шкала времени является шкалой интервалов и используется в большинстве моделей физики и во многих других науках естествознания как данность.

В классической термодинамике время исключено из рассмотрения благодаря использованию понятия равновесного процесса – бесконечно медленного процесса. В неравновесной термодинамике время в теорию вводится искусственно через соотношение Гиббса, при этом, что это за величина нигде не поясняется. Если исходить из анализа уравнений неравновесной термодинамики, то можно сделать вывод, что время в этом случае является универсальным внешним параметром в смысле абсолютного времени Ньютона. В свою очередь, термодинамика конечного времени, учитывающая интенсивность и продолжительность термодинамических процессов, не получила своего развития.

В специальной теории относительности (СТО) время и пространство органично связаны в единое целое. Четырехмерное пространство-время имеет три пространственных измерения и одно временное. В данном случае можно говорить о геометрической модели пространства-времени. Однако сущность времени в данной модели тоже не раскрывается. По определению Эйнштейна: время есть то, что измеряется часами, а собственное время объекта – это время измеряемое по часам, которые движутся вместе с объектом. Другими словами, каждый объект в СТО имеет свою собственную временную шкалу, при этом каждая такая шкала при измерениях несет содержание абсолютного времени Ньютона.

В большинстве разделов математической физики, геологии, метеорологии, биологии, астрономии, археологии, палеонтологии, токсикологии и т.д. преимущественно используются ньютоновские представления о времени, хотя в подавляющем числе случаев это явно не оговаривается.

В свою очередь реляционные модели времени основываются на анализе системы отношений между объектами и событиями. На первое место при построении конструкций времени выходят свойства объектов, их изменения и наблюдаемые причинно-следственные события, связанные с этим. Наше измеряемое время, в виде общепринятой шкалы времени, рассматривается как одна из эмпирических величин, позволяющая оценить свойства особого, специфического, собственного времени для определенного класса объектов. Подобные реляционные модели есть в физике, биологии, стратиграфии и т.д.

В случае реляционных моделей сущность времени как величины должна вытекать из созданной теории. Цель таких моделей – преодолеть общепринятое физическое истолкование времени и использовать в качестве системы измерения времени изменение любых свойств объектов, а не только механическое движение. В этом плане время как феномен является следствием изменения множества свойств, присущих материальным объектам.

Геологическое время Бюффона, биологическое время Вернадского и Уитроу, органическое время Бакмана, внутреннее время Пригожина, таксонометрическое время Мейена, собственное время СТО – это идеи определения времени на основе изменения свойств и наблюдения событий, которые свойственны объектам разной природы. Научное представление о том, что любому процессу или явлению может быть поставлено в соответствие несколько шкал измерения времени, а каждый процесс обладает своим хроногенезом [4, 5], становится распространенным.

В данной работе в качестве обобщения представлений о времени, основанных на изменении свойств объектов, будем использовать понятие *системного времени*. Так как проблему времени мы рассматриваем с позиций общей теории систем, то, на наш взгляд, это наиболее удачное название. Под системным временем будем понимать собственное, внутреннее, особое время применительно к системам различной природы.

Так же как между существованием эмпирических шкал температур и принятием шкалы абсолютной температуры нет противоречий, а есть органическая связь, также не должно быть противоречий между существованием различных шкал времени. В этом плане слова Поля Шамбадаля: «… чтобы установить различие между прошлым и будущим, мы должны обратиться не к хронометрам, а к термометрам», является в определенной степени провидческим утверждением. Очевидно, что системное время, также как и температура в термодинамике, будет являться особой величиной, которая в целом характеризует изменения состояний конкретных объектов, исходя из динамических изменений их свойств.

Сегодня устоявшегося названия науки о времени в общем то нет. Чаще всего в литературе встречаются названия темпорология и хронофизика. Учитывая специфику статьи, где тема времени выходит за пределы физики в научные области теории систем, будем придерживаться первого названия.

Таким образом, темпорология – междисциплинарное научное направление, изучающее понятие времени, его концепции, свойства, методы измерения и описания в различных науках. Предметом ее изучения являются все факты и закономерности природы и общества, связанные со временем.

Целью данной статьи является разработка способов измерений и установление закономерностей и свойств системного времени применительно к различным классам объектов как основы создания феноменологической теории времени.

О логических парадоксах специальной теории относительности

Появление специальной теории относительности привело к изменению представлений о пространстве и времени. СТО положена в основу современной физики, в связи с чем занимает в ней особое место. Однако, исторически эта теория [6, 7] связана с рядом парадоксов и проблематичных суждений [4, 8 – 11], по многим ее положениям уже более ста лет не утихают дискуссии.

Уравнения Лоренца в теории относительности получают, представляя фронт распространения световой волны в двух инерционных системах отсчета XYZ и $X'Y'Z'$. В результате из условий однородности и изотропности пространства и времени, а также принципа постоянства скорости света $c = c'$ в обеих системах XYZ и $X'Y'Z'$, следует вывод для преобразований координат и времени в разных инерционных системах [11].

В процессе вывода уравнений предполагают, что системы координат XYZ и $X'Y'Z'$ в начальный момент времени размещены таким образом, что координатные оси OX и OX', OY и OY', OZ и OZ' совпадают, также как и начала координат O и O' [12]. Далее началу координат системы $X'Y'Z'$ сообщается постоянная скорость υ в направлении оси OX (ось OX' скользит по оси OX). Используя часы, связанные с началами отсчета O и O', определяется соответственно время t и t'. Далее в мысленном эксперименте, основываясь на световых сигналах, посылаемых качестве сообщений, вводится понятие одновременности пространственно разобщенных событий. Исходя из однородности и изотропности пространства, в общем виде устанавливаются уравнения связи между координатами и временем в «неподвижной» системе XYZ с координатами и временем в «движущейся» системе $X'Y'Z'$:

$$\begin{aligned} x' &= f_1(x, y, z, t), \\ y' &= f_2(x, y, z, t), \\ z' &= f_3(x, y, z, t), \\ t' &= f_4(x, y, z, t) \end{aligned} \tag{1}$$

и доказывается линейность этих уравнений [см., например, 11].

Основываясь на постоянстве скорости света в системах XYZ и $X'Y'Z'$ и используя зависимости для фронта распространения светового сигнала из начала координат в начальный момент времени, когда точки O и O' совпадали, записывают уравнения для точек фронта волны в обоих системах в виде [11]:

$$c^2t^2 = x^2 + y^2 + z^2, \tag{2}$$

$$c^2t'^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2 . \qquad (3)$$

Это позволяет получить конкретный вид зависимостей (1).

Согласно этого достаточно известного вывода показывают, что уравнение распространения света (3) преобразуется в (2) при переходе $X'Y'Z' \to XYZ$ только в том случае, когда координаты x и время t связаны с координатами x' и временем t' движущейся системы $X'Y'Z'$ соотношениями [11, стр. 32]:

$$x' = \frac{x - \upsilon t}{\sqrt{1 - \upsilon^2/c^2}}; \quad t' = \frac{t - \frac{\upsilon}{c^2}x}{\sqrt{1 - \upsilon^2/c^2}}, \qquad (4)$$

которые используются совместно с уравнениями для координат $y' = y$ и $z' = z$.

Известно, что соотношения (4) образуют группу лоренцовых преобразований, из которой получаются все практически важные следствия теории относительности, при этом утверждают, что преобразования Лоренца выражают общие свойства пространства и времени для любых физических процессов.

Сразу после становления СТО были сформулированы парадоксы этой теории, основными из которых являются: парадокс сокращения движущихся масштабов в направлении движения, парадокс замедления хода движущихся часов, парадокс эйнштейновского поезда, парадокс связи массы и скорости объекта в теории Минковского и т.д. [4, 10, 11].

Скорее всего, парадоксы теории относительности определяются тем, что гипотетические модели не в полной мере отражают физическую реальность процессов и сформулированы на недостаточно обширной опытной базе. Отметим некоторые положения дискуссионного характера, сущность которых связана исключительно с геометрическими представлениями, а не с физикой процессов.

При анализе логической системы СТО возникает ряд проблемных вопросов, а именно: Почему в данной системе используются только механические движения и не учитываются изменения других свойств объектов и другие материальные движения? Почему рассматривается четырехмерное пространство состояний, а не многомерное и насколько условия четырехмерности являются фундаментальными? Чем обоснована необходимость принятия геометрической модели пространства состояний, и почему не используются другие модели, например, событийно вероятностная? Почему в СТО нет отличий между физической и геометрической системами координат (между физикой процессов и их математическими моделями)? В исходной постановке задачи в СТО не принимается во внимание даже масса объектов. В чем физический смысл преобразований Лоренца? Почему ключевое понятие времени в СТО крайне нечетко определено? Почему вся теория СТО построена на мысленных, а не на физических экспериментах и чем можно объяснить противоречия их результатов [13] по проверке такой важной для физики теории? и т.д.

На фоне физических экспериментов, подтверждающих теорию относительности [14], имеется ряд экспериментов ее опровергающих [13], причем бывают случаи, что один и тот же эксперимент трактуется специалистами по разному.

В данной статье мы не будем касаться физической проблематики СТО, а рассмотрим ее задачи в общем виде с позиций теории систем и системного подхода.

Для того чтобы показать, что с логическими положениями СТО не все обстоит так благополучно, как кажется, изложим несколько модельных представлений времени на основе гипотетических подходов, рассматривая при этом многомерные пространства свойств для различных классов объектов и систем, которым свойственны разные материальные движения.

1. В первом случае пусть имеется многомерное пространство состояний E_z^n, отнесенное к системе прямоугольных координат $z_1, z_2, ..., z_n$ параметров свойств, а также другое пространство $E_{z'}^n$ с системой координат $z'_1, z'_2, ..., z'_n$. Рассмотрим две области Ω_z^n и $\Omega_{z'}^n$ в этих пространствах, ограниченные соответственно поверхностями S_z и $S_{z'}$. Пусть данные пространства связаны между собой взаимно однозначным непрерывным соответствием вида $z'_k = z_k(z_1, z_2, ..., z_n)$. Поэтому каждой точке M_z области Ω_z^n однозначно соответствует точка $M_{z'}$ области $\Omega_{z'}^n$, причем точкам поверхности S_z отвечают именно точки поверхности $S_{z'}$ и наоборот.

Если в каждой точке M_z области Ω_z^n существует некоторая скалярная величина θ, то в Ω_z^n задано поле этой величины $\theta = \theta(z_1, z_2, ..., z_n)$. Очевидно, что при строгой однозначности соответствия между областями Ω_z^n и $\Omega_{z'}^n$ поле величины θ существует в обеих областях и не зависит от выбора координатной системы.

В работах автора [15 – 18] показано, что для многомерных континуальных пространств состояний систем E_z^n, опытные данные для которых могут быть описаны математическими моделями с использованием мультипликативных, однородных или аддитивных функций, существует потенциал (функция меры) вида:

$$dP = d\left(\frac{z_1^2}{2c_1} + \frac{z_2^2}{2c_2} + \ldots + \frac{z_n^2}{2c_n}\right), \qquad (5)$$

где c_k – величины, характеризующие континуальные закономерности пространства E_z^n по направлениям осей координат z_k.

Отсюда вытекает несколько результатов, существенных для развития методов моделирования в темпорологии, поэтому для их представления проведем некоторые аналогии.

Рассмотрим изменение функции меры для пространства E_z^n согласно (5).

Данное уравнение справедливо для любых многомерных континуальных пространств, для которых выполнены условия и допущения, принятые работах [15 – 18].

Координаты движения могут быть представлены как свойства объектов в трехмерном пространстве. Поэтому предположим, что в частном случае изучается множество движущихся пространственных инерциальных трехмерных систем (объектов), которые мы признаем равноправными. Поставим задачу формального получения из уравнений вида (5), по которым можно найти значения координат и времени в некоторой инерциальной системе по отношению к другой системе – известные лоренцовы преобразования.

Выделим из множества две произвольные системы XYZ и $X'Y'Z'$. Предположим, что наблюдение за состоянием систем осуществляется из системы XYZ, которую будем считать неподвижной, а пространство состояний – изотропным и однородным. Примем в качестве параметров свойств систем координаты их положения в трехмерном пространстве, для системы XYZ – это $z_1 = x$, $z_2 = y$ и $z_3 = z$, а для системы $X'Y'Z'$ – это $z_1' = x'$, $z_2' = y'$ и $z_3' = z'$. Далее для системы XYZ выберем начало отсчета, размещенное в точке O с координатами $x = 0$, $y = 0$ и $z = 0$. Аналогично, для системы $X'Y'Z'$ начало отсчета зададим в точке O' ($x' = 0$, $y' = 0$ и $z' = 0$). Пусть система $X'Y'Z'$ движется относительно системы XYZ со скоростью υ вдоль оси OX, т.е. система $X'Y'Z'$ скользит осью OX' по оси OX, а координаты y и y', а также координаты z и z' совпадают. В начальный момент времени (до начала движения) точки O и O' также совпадают. Этим самым мы полностью выполнили условия и приняли обозначения (рис. 1), использованные в СТО при исходной постановке задачи.

Для общего случая из уравнения (5) определим меру как математическую функцию пространства состояний XYZ по отношению к ее началу отсчета, для которого примем значение $P(0,0,\ldots,0) = 0$:

$$P = \frac{1}{2}\left(\frac{z_1^2}{c_1} + \frac{z_2^2}{c_2} + \ldots + \frac{z_n^2}{c_n}\right). \qquad (6)$$

Аналогичным образом, мера пространства состояний $X'Y'Z'$ по отношению к началу отсчета O' будет иметь вид:

$$P' = \frac{1}{2}\left(\frac{z_1'^2}{c_1'} + \frac{z_2'^2}{c_2'} + \ldots + \frac{z_n'^2}{c_n'}\right). \qquad (7)$$

Сохраняя общепринятые в теории относительности представления, введем следующие обозначения для системы XYZ, имея в виду, что мера пространства P и величины c_k положительны, а многомерное пространство состояний изотропно и однородно, в результате получим:

$$P = t^2 \text{ и } c_1 = c_2 = \ldots = c_n = c^2/2. \qquad (8)$$

После преобразований и замены координат уравнение (6) примет вид:

$$c^2 t^2 = x^2 + y^2 + z^2. \qquad (9)$$

В системе $X'Y'Z'$, которая движется вдоль оси OX' со скоростью υ, уравнение (7) с учетом аналогичных обозначений имеет вид:

$$c'^2 t'^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2. \qquad (10)$$

Также как и в теории относительности, определим величины t и t' как время, регистрируемое соответственно в системе XYZ и системе $X'Y'Z'$, при этом мы считаем также, что $c = c'$. В этом случае уравнения (9) – (10) совпадают с уравнениями (2) – (3).

Таким образом, на основе использования уравнений для меры пространства состояний вида (6) и (7) в результате известных предположений и простого вывода можно формально получить преобразования Лоренца, если провести вывод этих уравнений на основе зависимостей (9) – (10) и принятых как в СТО гипотетических представлений [11]. При этом использована логика системного анализа и не привлекались данные физического опыта.

Однако, обратим внимание на то, что именно опыт признается единственно возможной основой для создания теорий. Поэтому будем осторожно относится к гипотетическим моделям, для которых отсутствуют опытные данные, полученные в процессе прямого наблюдения.

2. Теперь покажем, что основные положения СТО в своей сути относятся исключительно к геометрическим построениям

и вообще могут быть не связаны с физическим опытом.

Для этого рассмотрим многомерное пространство состояний E^n для некоторого класса объектов, который характеризуется параметрами свойств $z_1, z_2, ..., z_n$. В частном случае (только для наглядности представления и полного соответствия обозначениям, принятым в СТО) изобразим на рисунке два трехмерных пространства состояний XYZ и $X'Y'Z'$ (рис.1).

Также как и ранее считаем, что для системы XYZ параметры свойств $z_1 = x$, $z_2 = y$ и $z_3 = z$, а для системы $X'Y'Z'$ – $z_1' = x'$, $z_2' = y'$ и $z_3' = z'$ (не обязательно x, y, z – это координаты движения). Принимаем также все изложенные ранее условия для взаимного движения систем XYZ и $X'Y'Z'$ и выбора начал отсчета.

Возьмем в пространстве состояний XYZ произвольную точку M, характеризующую некоторое состояние. Построим из начала координат O до точки M радиус-вектор $\vec{r}$, квадрат модуля которого равен:

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2. \qquad (11)$$

Так как уравнение (11) при геометрическом подходе справедливо для любой точки пространства состояний, то предположим, что соотношение (11) может быть представлено в параметрическом виде:

$$r^2(t) = x^2(t) + y^2(t) + z^2(t). \qquad (12)$$

Определим параметр t как $t = r/c$, где c – произвольно выбранная константа.

При прямолинейном и равномерном движении точки M в евклидовом пространстве состояний (при совершении линейного процесса) параметры свойств x, y, z будут линейно зависеть от t и всегда будет выполняться равенство:

$$c^2t^2 = x^2 + y^2 + z^2. \qquad (13)$$

Аналогичным образом для системы $X'Y'Z'$ выполним те же действия. Построим до точки M радиус-вектор $\vec{r}'$ и определим квадрат его модуля:

$$r'^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2. \qquad (14)$$

Далее представим уравнение (14) в параметрическом виде и зададим параметр t' как $t' = r'/c'$, где c' – произвольно выбранная константа. В результате получим равенство:

$$c'^2t'^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2. \qquad (15)$$

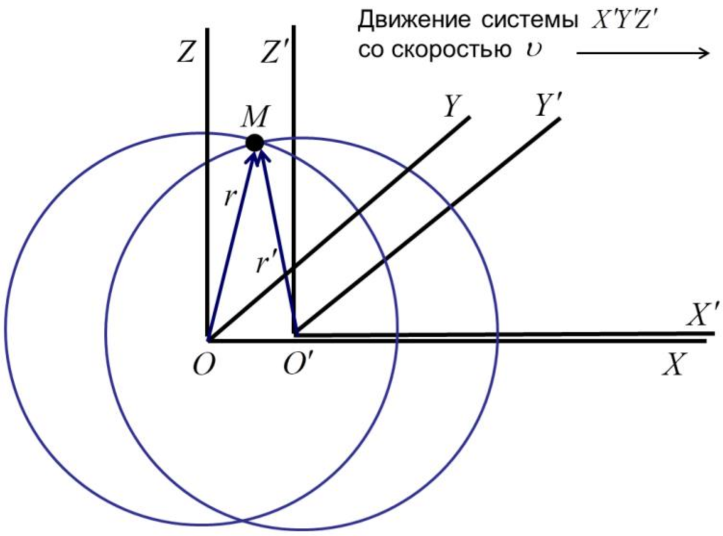


Рис. 1. – Схема представления двух пространств состояний XYZ и $X'Y'Z'$, движущихся относительно друг друга.

Так как константы c и c' выбираются произвольно, то в частном случае примем, что $c = c'$. В результате уравнения (13) и (15) будут полностью соответствовать уравнениям (2) и (3), из которых выводят преобразования Лоренца (4). Приведенная модель легко обобщается на многомерное пространство состояний. Особо отметим, что в данном случае не было необходимости использовать физические представления об относительности законов, по которым изменяются состояния физических систем (принцип относительности), и принцип постоянства скорости света, привлекать информацию о световых сигналах, использовать положение о сферическом распространении фронта световой волны, применять методы синхронизации часов и т.д. Более того в исходной постановке задачи данные о физических процессах вообще не учитывались. В связи с этим у нас нет ни малейших оснований связывать геометрические параметры t и t' с физическим временем измеряемым часами соответственно в системах XYZ и $X'Y'Z'$. Получается, что вся модель пространства-времени СТО является исключительно гипотетической и представляет собой чисто искусственную геометрическую конструкцию. При этом вопрос о том, в какой мере принятая модель пространства состояний физической системы отвечает данным физического опыта в СТО обосновывается мысленными экспериментами и общепринятыми идеализированными представлениями о движении света.

Приведенные выше два примера указывают на то, что исходные модели, приводящие к преобразованиям Лоренца, могут быть абсолютно разными и не основываться на физических процессах. Отсюда следует, что логические парадоксы СТО связаны с противоречием, возникающим между реальным физическим явлением и предложенной моделью этого явления, а также некорректным определением понятия времени, когда показания измерительных часов (каких, среди их множества?) принимают за фундаментальные свойства времени.

Наиболее известными парадоксами теории относительности являются сокращение движущихся масштабов в направлении движения и замедление хода движущихся часов. Первый парадокс, в общем случае, является следствием второго парадоксального вывода.

Из положений СТО вытекает, что события, одновременные относительно неподвижной координатной системы, не одновременны при рассмотрении их из координатной системы, движущейся относительно этой системы [6, 7]. Данный вывод вытекает из уравнений Лоренца (4) и является основным логическим парадоксом СТО, который получил название «парадокса часов». Во втором уравнении (4), в случае если события отделены расстоянием, наличие в числителе члена $(\upsilon x)/c^2$ приводит к выводу о нарушении одновременности событий в движущейся системе. В своей работе А. Бергсон, автор известной концепции времени, уделил много внимания данному парадоксу, который вытекает из противоречивости исходных положений специальной теории относительности [9]. Позиция Бергсона и основные результаты его работы достаточно ясно и кратко представлены в статье [8]. Гипотетический «парадокс часов», распространенный на живые организмы, породил известный в популярной литературе «парадокс близнецов». Популяризация теории относительности привела к множеству проблематичных образов и утверждений, которые поражают воображение, однако слабо обоснованы, так как прямой опыт их подтверждения отсутствует.

Ранее отмечалось, что утверждение А. Эйнштейна, что «время есть то, что измеряется часами», не является определением и никак не раскрывает природу времени. Здесь возникает обширный предмет обсуждения, начиная от вопроса – что это за «часы»?, до вопроса – а можно ли вообще измерять (а не рассчитывать) «особое время» в движущейся координатной системе, где присутствует наблюдатель? Ведь мы пока не можем поставить такой опыт с материальным телом, имеющим скорость, соизмеримую со скоростью света. Эйнштейн утверждал, что «всякая система отсчета имеет свое особое время». Это в целом верно, если любую координатную систему рассматривать не как математическую абстракцию, а как материальную систему, обладающую свойствами, изменения которых регистрирует присутствующий в ней наблюдатель, и отличающуюся собственным хроногенезом протекающих процессов. Однако, он не дал ответа на вопросы – в чем суть понятия времени; каким образом оно характеризуется, как и чем измеряется в разных системах; как задаются и сравниваются шкалы времени; тождественны ли шкалы «особого» (собственного) времени во множестве различных координатных систем с физическим временем явлений; правомерно ли вообще считать, что собственное время в разных системах с различными свойствами – это величина одной и той же природы; почему привносимые наблюдателем извне «часы» (например, атомные), должны отражать собственное время системы и замедляться в движущейся системе; эффект замедления времени – это физическая реальность или модельная абстракция; если этот эффект – физическая реальность, то какова природа замедления времени; если этот эффект – абстракция, то где проходит граница между физикой и применением математики в СТО? Проще говоря, не ответа на ключевой вопрос: каким образом при прямолинейном и равномерном движении скорость объекта будет оказывать влияние на электромагнитные колебания, излучаемые атомами при переходе из одного энергетического состояния в другое, в атомных часах, движущихся вместе с объектом.

Образно, суть данной проблемы мы видим в том, что из логических и математических моделей (уравнений Максвелла), которые с определенным приближением описывают некоторое физическое явление (в частности, электромагнитное), установлено, что «нечто», как говорил А. Пуанкаре, подчинено определенной закономерности, например, преобразованиям Лоренца. В нашей реальной действительности (в области опыта и практики) это «нечто» с определенным допущением можно связать с некоторой величиной, которая условно называется временем и характеризуется измерительной шкалой, общепринятой в хронометрии, например, атомной шкалой. Данная шкала широко применяется в практической деятельности человека для измерения моментов и длительностей событий с помощью системы измерений, основанной на атомных часах. Причем данная величина отражает только отдельные особенности всей необъятной проблемы, связанной с феноменом времени. Мы не можем с полной уверенностью утверждать, что уравнения Максвелла, которые относятся к классу моделей математической физики, отражают все реальные свойства электромагнитного поля.

В гипотетической ситуации движущейся материальной системы со скоростью, соизмеримой со скоростью света, принимается гипотеза (которую, нельзя на данном этапе науки и практики подтвердить прямым опытом), что это «нечто» является той же самой величиной с той же самой шкалой измерения и отображается теми же самыми часами для измерения длительностей («нечто» и величина тождественно равны). Естественно, что в процессе моделирования следствием этого является то, что модельная закономерность явления в одних условиях для одной величины переносится на другую величину в иных условиях. В результате, как итог модельного описания, возникает парадокс замедления хода движущихся часов, который переносится на реальность физических явлений.

В данном случае абсолютно прав А. Бергсон: Эйнштейн принял способ описания систем за действительность, а результат описания – за реальность, уверяя всех, что так устроен мир, что время в нем зависит от скорости перемещения [9].

Из приведенных выше двух примеров видно, что выводы СТО могут быть формально распространены на различные материальные движения и любые многомерные пространства состояний систем различной природы и, в своей сути, эти выводы являются исключительно результатом модельных описаний изучаемых реальных процессов.

3. Покажем, что можно предложить варианты модельных описаний четырехмерного пространства-времени, в которых логические парадоксы СТО отсутствуют. Будем придерживаться взглядов А. Бергсона на всю проблему СТО и представлений А. Пуанкаре о принципе относительности: «Уравнения электромагнитного поля не изменяются в результате некоторых преобразований, которые мы будем называть преобразованиями Лоренца; две системы, одна неподвижная, другая перемещающаяся поступательно, представляют собой, таким образом, точное изображение одна другой». Оба ученых полностью исключали присутствие наблюдателей в движущихся координатных системах и, как следствие, наличие в них физических часов. Исходя из чего, время в движущейся системе может только моделироваться и рассчитываться, а не измеряться.

Будем также четко отделять само физическое явление от модельного представления этого явления, предполагая всегда, что любая модель – это по своей сути упрощенное представление о реальном объекте, явлении или процессе. Причем создание модели всегда осуществляется в несколько этапов: установление закономерностей явления; принятие основных положений, гипотез и допущений; разработка модели; адаптация параметров модели по результатам опыта; проверка адекватности и достоверности модели сравнением с опытными данными.

Примем гипотезы, которые используются в теории относительности, относятся к окружающему пространству, времени и физическим явлениям и являются общепринятыми феноменологическими фактами, связанными с наблюдениями систем:

а) Пространство является изотропным в связи, с чем все пространственные направления равноправны.

б) Пространство и время однородны, т.е. наблюдается независимость свойств пространства и времени от выбора начальных точек отсчета (начала координат и начального момента времени).

в) Соблюдается общий принцип относительности – полное равноправие всех инерционных систем отсчета (физические явления в инерционных системах протекают одинаково).

Также как и ранее, предположим, что изучается множество движущихся пространственных инерциальных трехмерных систем (объектов), которые мы признаем равноправными, исходя из сформулированного принципа относительности. Выделим из данного множества произвольную систему XYZ, которую будем считать неподвижной. Предположим, что наблюдение за состоянием систем осуществляется из системы XYZ, причем окружающее физическое пространство отнесем к системе прямоугольных координат x, y, z. Начало отсчета координат разместим в точке O, которую свяжем непосредственно с системой XYZ, считая, что координаты точки O равны: $x=0$, $y=0$ и $z=0$ (рис. 1).

Следуя представлениям Бергсона, будем считать, что наблюдатель присутствует в неподвижной системе XYZ и отслеживает течение времени, используя общепринятые и стандартизированные процедуры измерения времени с помощью часов. Как утверждал Бергсон, наблюдатель является носителем «дления», которое можно оценивать часами, причем куда бы наблюдатель не переносил систему отсчета, он всегда несет систему принятого измерения времени с собой. Поэтому, пусть в системе XYZ расположены неподвижные по отношению к системе часы для измерения времени, например, атомные часы. Течение времени измеряем по шкале абсолютного времени в виде равномерной стандартизированной величины τ, которая оценивается этими часами. Начало наблюдений примем за начальное событие для изучаемой группы объектов, которое будем считать началом отсчета времени $(\tau=0)$ по шкале времени τ. Также как и в теории относительности, определим понятие события местом (т.е. тремя координатами x, y, z в неподвижной системе отсчета), где оно произошло, и временем τ, когда оно произошло. Например, факт наблюдения местоположения объекта есть совместное событие, которое происходит в четырехмерном пространстве, причем значения пространственных координат определяют положение точки, где произошло событие, а значение времени – момент наблюдения события по времени системы XYZ.

Относительно неподвижной системы XYZ построим систему четырехмерных координат пространства-времени (τ, x, y, z). Тогда множество равномерно и прямолинейно движущихся объектов может быть представлено точками в четырехмерном пространстве координат τ, x, y, z (рис. 2). В таком четырехмерном пространстве событие обычно изображается точкой, называемой мировой точкой. Изменение координат точки с течением времени означает движение по линии, называемой в теории относительности мировой линией. В специальной теории относительности, если время рассматривается как одна из координат четырехмерного пространства, то его называют координатным временем, мы же его будем пока называть абсолютным временем τ, как это было пояснено ранее. Это независимая переменная, которая отображается в шкале международного атомного времени.

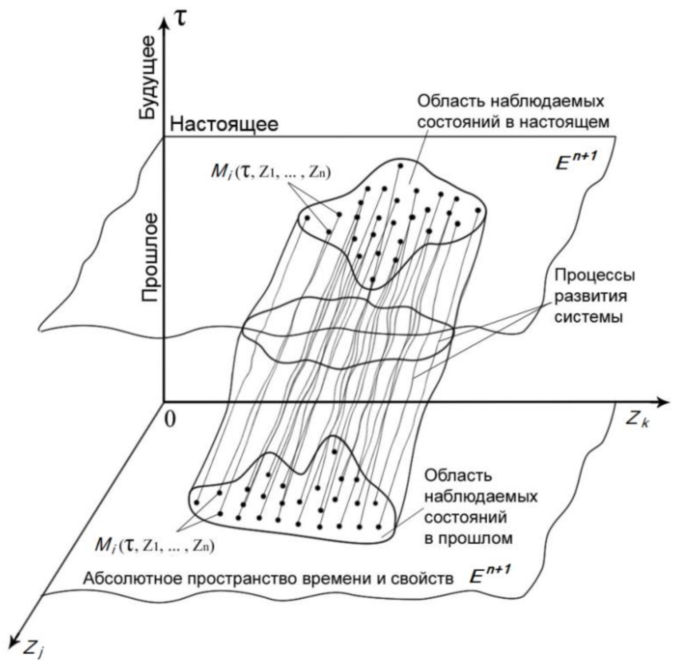


Рис. 2. – Пространство состояний системы в ретроспективе абсолютного времени τ.

Отметим, что «абсолютное время» это не совсем удачное название, т.к. шкала времени τ является шкалой интервалов, а не шкалой отношений. Лучше было бы говорить об эмпирическом времени τ, однако будем придерживаться в этом случае ньютоновских определений времени.

Каждая система будет осуществлять процесс равномерного и прямолинейного движения в пространстве (τ, x, y, z) с постоянной скоростью.

При этом координаты x, y, z будут описывать процесс движения. В свою очередь, если изучаемое четырехмерное пространство-время эвклидово, то каждая точка (система, объект) описывает в процессе движения в этом пространстве линию, которая является прямой.

Практический опыт человечества показывает, что наблюдаемое физическое пространство в неподвижной системе координат является эвклидовым. Поэтому примем описанное выше четырехмерное пространство-время за основную среду моделирования. Учитывая четырехмерное обобщение эвклидовой геометрии, введем в рассмотрение некоторую величину S для точки в пространстве состояний, которая равна квадрату инварианта пространственно-временного интервала:

$$S = \rho^2 = \tau^2 + x^2 + y^2 + z^2 . \qquad (16)$$

Данная величина вместе с уравнением движения будет характеризовать определенное положение точки в четырехмерном пространстве, исходя из принятой математической модели.

Пока мы не говорим о единицах систем измерения величин τ, x, y, z, так как на этапе разработки модели нас интересует математический формализм получения модельного описания.

Теперь рассмотрим некоторую функцию пространства состояния системы, которую представим в виде $\theta = \theta(\tau, x, y, z)$ и назовем ее эмпирической мерой состояния. На этапе разработки модели предположим, что скалярная функция θ существует, причем пока не будем останавливаться на природе этой величины. Просто считаем, что наблюдается однозначная связь данной величины с фактами физического опыта, которые отражают результаты движения системы или объекта. Таким образом, имеем две величины S и θ, одна из которых напрямую соотносится с моделью пространства состояний, а другая однозначно связана с результатами физического опыта.

Таким образом, пусть имеется пространство наблюдаемых состояний системы E^4, где координатные оси соответствуют абсолютному времени τ и пространственным координатам x, y, z четырехмерного пространства свойств. Пространство E^4 будем рассматривать как многомерное пространство точек M, каждая из которых соответствует некоторому состоянию системы. В данном пространстве как результат опыта наблюдаются процессы прямолинейного и равномерного движения N систем (объектов). Если пространство состояний рассматривать непрерывным, то каждой точке $M(\tau, x, y, z)$ этого пространства может быть поставлено в соответствие значение эмпирической меры θ и величины S. При этом результаты опыта являются как-бы некоторой выборкой данных из пространства E^4 и отражают закономерности данного пространства состояний.

Введем в рассмотрение следующие гипотезы, которые относятся к пространству как к среде моделирования процессов.

1. Пусть в пространстве состояний системы E^4 каждой точке M поставлено в соответствие действительное число θ, которое является результатом опыта и которое будем называть эмпирической мерой состояния.

2. Величина $\theta(M)$ является функцией точки и образует скалярное поле, которое является непрерывным в области E^4.

Для величины θ примем также следующую гипотезу.

3. Для всего многообразия траекторий движения, проходящих через произвольную точку M, изменения величин θ и S однозначно связаны между собой, при этом для любого элементарного отрезка в окрестности точки M справедливо соотношение $d\theta = c_l dS$, где c_l – эмпирические величины, которые, в общем случае, являются функциями процесса и определяются по результатам опыта.

Согласно данной гипотезы, в окрестности точки M имеем следующие соотношения:

$$\frac{\partial\theta}{\partial\tau} = c_\tau \frac{\partial S}{\partial\tau}, \quad \frac{\partial\theta}{\partial x} = c_s \frac{\partial S}{\partial x}, \quad \frac{\partial\theta}{\partial y} = c_s \frac{\partial S}{\partial y},$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial z} = c_s \frac{\partial S}{\partial z} . \qquad (17)$$

Здесь при обозначении величины c_s принято, что физическое пространство является изотропным, в связи с чем $c_s = c_x = c_y = c_z$. Кроме того, для рассматриваемого случая, исходя из однородности пространства-времени, величины c_s и c_τ можно считать константами. Величина c_l зависит от этих величин и наблюдаемой траектории движения.

Учитывая, что величина S является однородной функцией второй степени вида $\alpha^2 S = S(\alpha\tau, \alpha x, \alpha y, \alpha z)$, из соотношений (17) и свойств однородной функции (формула Эйлера) получим следующее уравнение:

$$\frac{\tau}{2c_\tau}\frac{\partial\theta}{\partial\tau} + \frac{x}{2c_s}\frac{\partial\theta}{\partial x} + \frac{y}{2c_s}\frac{\partial\theta}{\partial y} + \frac{z}{2c_s}\frac{\partial\theta}{\partial z} = S , \qquad (18)$$

откуда характеристики уравнения (18) определяются системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$2c_\tau \frac{d\tau}{\tau} = 2c_s \frac{dx}{x} = 2c_s \frac{dy}{y} = 2c_s \frac{dz}{z} = \frac{d\theta}{S} = ds \qquad (19)$$

Из данных уравнений легко определить энтропию состояния:

$$ds = \frac{1}{2}\left(c_\tau \frac{d\tau}{\tau} + c_s \frac{dx}{x} + c_s \frac{dy}{y} + c_s \frac{dz}{z} \right). \quad (20)$$

Уравнение (18) приводит к следующему уравнению Пфаффа:

$$\frac{\tau}{c_\tau} d\tau + \frac{x}{c_s} dx + \frac{y}{c_s} dy + \frac{z}{c_s} dz + 2S\, d\theta = 0. \quad (21)$$

Если рассматривать поверхности уровня для величины $\theta = \theta(\tau, x, y, z)$, то $d\theta = 0$ и уравнение (21) приводится к полному дифференциалу, для которого общий интеграл будет иметь вид:

$$P(\tau, x, y, z) = \frac{1}{2}\left(\frac{\tau^2}{c_\tau} + \frac{x^2}{c_s} + \frac{y^2}{c_s} + \frac{z^2}{c_s} \right). \quad (22)$$

Здесь принято, что $P(0,0,0,0) = 0$. Уравнение (22) представляет поверхность в четырехмерном пространстве-времени E^4 и, следовательно, решениям уравнения Пфаффа соответствует семейство поверхностей, ортогональных характеристическим линиям энтропии s (19). Поверхности (22) представляют собой поверхности уровня $\theta = const$ для скалярного поля величины θ, причем через каждую точку M пространства E^4 проходит одна поверхность уровня.

Исходя из гипотезы 2, так как величина θ образует скалярное поле, то значение этой величины в каждой точке пространства не зависит от выбора системы координат. В свою очередь, величина $P = P(\tau, x, y, z)$ является математической функцией, описывающей криволинейную координатную сетку в однородном евклидовом пространстве, поэтому математические выражения для описания поверхностей уровня зависят от выбора системы координат.

Теперь выберем из множества систем произвольную систему $X'Y'Z'$, которая движется равномерно и прямолинейно со скоростью υ вдоль оси OX системы XYZ, и будем считать ее «неподвижной» системой отсчета с началом координат в точке O' и четырехмерными координатами τ', x', y', z'. Также принимаем, что в начальный момент времени $\tau = 0$ начало координат и направления всех осей системы $X'Y'Z'$ совпадали с началом координат и направлениями осей системы XYZ. Тогда, общий интеграл P' системы $X'Y'Z'$ для случая изотропного и однородного пространства-времени, будет иметь вид, аналогичный (22):

$$P'(\tau', x', y', z') = \frac{1}{2}\left(\frac{\tau'^2}{c_\tau} + \frac{x'^2}{c_s} + \frac{y'^2}{c_s} + \frac{z'^2}{c_s} \right). \quad (23)$$

Здесь также $P'(0,0,0,0) = 0$, так как в начальный момент времени точки O и O' совпадают.

Так как после изменения системы отсчета наблюдатель находится в точке O', то время τ' в системе $X'Y'Z'$ измеряется по той же самой шкале, что и в системе XYZ, поэтому $\tau' = \tau$ (т.к. часы наблюдатель привносит с собой). Исходя из этого, для систем XYZ и $X'Y'Z'$ преобразования координат связаны между собой взаимно однозначным соответствием, которое осуществляется по формулам:

$$\tau' = \tau\,; \quad x' = x - \upsilon\tau\,; \quad y' = y\,; \quad z' = z\,. \quad (24)$$

Известно, что данные формулы являются преобразованиями Галилея, которые преобразуют координаты материальной точки при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой.

Различные координатные сетки систем отсчета лишь по-разному отображают одно и то же пространство, где задано скалярное поле реальной величины $\theta = \theta(M)$, связанной с опытом. Поэтому взаимосвязь между ортогональной криволинейной координатной сеткой в одной «неподвижной» системе координат с ортогональной криволинейной сеткой в другой «движущейся» системе координат не может быть произвольной.

Определим эту связь для величин $P = P(\tau, x, y, z)$ и $P' = P'(\tau', x', y', z')$, учитывая формулы преобразования координат (24). Так как мы рассматриваем одни и те же поверхности уровня $(d\theta = 0, \theta = const)$ для величины $\theta = \theta(M)$ в различных системах координат, то уравнение Пфаффа для системы $X'Y'Z'$ будет иметь вид:

$$\frac{\tau'}{c_\tau} d\tau' + \frac{x'}{c_s} dx' + \frac{y'}{c_s} dy' + \frac{z'}{c_s} dz' = 0. \quad (25)$$

Интегрирование (25) приводит к выражению (23). В свою очередь, заменяя в (25) переменные и учитывая, что из (24) $d\tau' = d\tau$, $dx' = d(x - \upsilon\tau)$, $dy' = dy$ и $dz' = dz$, получим общий интеграл в виде:

$$P(\tau, x, y, z) = \frac{1}{2}\left(\frac{\tau^2}{c_\tau} + \frac{(x - \upsilon\tau)^2}{c_s} + \frac{y^2}{c_s} + \frac{z^2}{c_s} \right). \quad (26)$$

Делая обратную замену переменных согласно (24), получаем естественно опять уравнение (23). Таким образом, при переходе от «неподвижной» к «движущейся» системе координат и обратно мы используем только преобразования Галилея.

Теперь ясно видна суть логического парадокса «часов» специальной теории относительности. Раскроем сущность этого парадокса, используя для наглядности обозначения:

$P = t^2$, $P' = t'^2$ и $c_s = c^2/2$, а также

$$\lambda = c_s / c_\tau = c^2 / (2c_\tau), \quad (27)$$

тогда уравнения (22) и (23) будут иметь вид:

$$\lambda\tau^2 + x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2 = 0, \quad (28)$$

$$\lambda\tau'^2 + x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2t'^2 = 0. \quad (29)$$

Таким образом, при моделировании любого процесса (не только физического) в качестве независимой переменной использовано время, которое показывают часы наблюдателя τ. Данное время измеряется по шкале в смысле абсолютного времени Ньютона и привносится в любую систему извне. Коэффициент λ должен определяться при выборе единиц измерения и создании шкал времени и свойств в процессе моделирования процессов. Например, определяя секунду, как время, равное 9192631770 периодам излучения соответствующего перехода между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия 133, а метр – как путь, проходимый светом в вакууме за время в 1/299792458 секунды, устанавливается соответствие между расстоянием и временем и в модель вводится скорость света. Построение шкал измерений является первым шагом при адаптации параметров модели по результатам опыта. Здесь отметим, что гипотезы об изотропности пространства и однородности пространства и времени приняты для упрощения модельного представления явления. В общем случае, они вовсе не обязательны, так как величины c_k и c_τ можно рассматривать как непрерывные функции свойств x, y, z и времени, при этом уравнение (18) также имеет решение.

В частном случае (СТО), в уравнениях (28) – (29) при исключении времени наблюдателя $\lambda = 0$, имеем следствия в виде выражений, которые в СТО являются исходными уравнениями движения фронта световой волны и из которых получают преобразования Лоренца в виде (2) и (3):

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2 = 0, \quad (30)$$

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2t'^2 = 0. \quad (31)$$

В специальной теории относительности величина t называется координатным временем, величина t' – собственным временем, которое измеряется часами, жестко связанными с движущейся системой, а величина абсолютного (эмпирического) времени наблюдателя τ вообще не принимается во внимание.

На самом деле в уравнениях (28) – (29) величины абсолютного времени τ и τ' одинаковы, так как наблюдатель переносит одни и те же часы собой при переходе из одной системы отсчета к другой. Поэтому шкалы времени τ и τ', которые отражают принятый в хронометрии способ измерения времени, абсолютно тождественны между собой.

В процессе построения теории Эйнштейн практически принял ошибочную гипотезу, что математические функции $P = t^2$ и $P' = t'^2$, которые как координатные сетки описывают поверхности уровня некоторой величины в пространстве состояний, являются наблюдаемым координатным и собственным временем системы. При этом принято, что данные математические функции однозначно характеризуют физическое время любых явлений и отражают изменение свойств систем с течением времени. Однако с опытом непосредственно связаны не эти функции, а эмпирическая мера θ. Так как было показано ранее, может существовать несколько различных моделей времени, поэтому при разработке теории необходимо было доказать на опыте, что координатное и собственное время, в том виде в каком эти величины приняты в СТО, однозначно связаны с эмпирическим временем, измеряемым по шкале τ (τ').

Вторая логическая ошибка СТО состоит в том, что измеряемые времена в системах XYZ и $X'Y'Z'$ (величины τ и τ', которые регистрируются наблюдателем и отражают физику периодических процессов часов) не взаимно тождественны. Эйнштейном практически принято предположение, что величина τ тождественна координатному времени, а величина τ' тождественна собственному времени системы. Образно говоря принято, что «модель первична, а реальность вторична».

Указанные выше две логические ошибки приводят к тому, что закономерности, полученные на модели, переносятся на реальность физических явлений и считается, как говорил А. Бергсон, что так устроен мир, что время в нем зависит от скорости перемещения.

Отметим, что мы пока ведем дискуссию практически только на этапе разработки математической модели системы и еще даже не подошли к этапу адаптации параметров модели по результатам опыта и тем более этапу проверки ее адекватности и достоверности путем сравнения результатов моделирования с опытными данными.

Обратим также внимание на то, что при построении исходной модели не привлекался постулат о постоянстве скорости света. Вывод был основан только на том, что величина $c_s = c^2/2$ постоянна в связи с изотропностью пространства состояний, однако отсюда абсолютно не следует то, что постоянная, которая обозначена значком c, это скорость света. При задании единицы измерения расстояния с помощью пути, проходимым светом в вакууме, это скорость света, в других случаях это может быть иная постоянная.

Последние два этапа создания модели должны быть также связаны с обоснованием на основе опытных данных справедливости принятых гипотез, например, проверки факта существования функции θ, оценки допущения о постоянстве параметров модели, разработкой систем оценки и измерения величин и т.д. Однако, мы не ставим таких задач, так как целью раздела было теоретически раскрыть логические парадоксы специальной теории относительности, которые являются следствием принятой логики и допущений при математическом моделировании. Данные задачи являются предметом исследований физики и выходят из области исследований теории систем, так как связаны с физическим опытом.

Таким образом, в предложенном варианте модельного описания четырехмерного пространства-времени отсутствуют логические парадоксы СТО. Все сказанное выше указывает на то, что данные парадоксы – результат принятого А Эйнштейном при моделировании способа описания физических систем и логических ошибок, вытекающих из некорректного представления времени. Естественно, что никакого замедления хода обычных часов в движущейся координатной системе не будет. Наши математические абстракции не могут изменять реальную действительность. Кроме того, на данном этапе развития науки и практики, данные парадоксы во многом являются следствием невозможности проведения прямого опыта по проверке положений СТО и осуществления сравнения результатов моделирования с результатами этого опыта. Все существующие эксперименты в этой области являются косвенными, причем в основном они относятся к физическим объектам, обладающим массой (элементарные частицы, астрообъекты и т.д.)[1], что в СТО в геометрической постановке задачи никак не учтено. Только этим можно объяснить тот удивительный факт, что парадоксы СТО присутствуют в естествознании уже более ста лет, прочно вошли в формализм современной науки и воспринимаются догматически, несмотря на обширную их критику.

Теперь можно сделать некоторые выводы.

1) Теория относительности является моделью пространства и времени, которая учитывает существующую между ними геометрическую взаимосвязь, установленную не на основании данных опыта, а на основе проведения мысленных экспериментов. Такие модели относятся к классу динамических закономерностей и в этом смысле строго детерминированы. Парадоксы СТО объясняются исключением из процесса моделирования независимой переменной – времени наблюдателя τ, которое как шкала должно использоваться в любых инерциальных системах.

2) Обратим внимание на то, что в обозначениях (8) – (10) квадраты координатного $\left(P = t^2\right)$ и собственного $\left(P' = t'^2\right)$ времени были приняты равными математической мере пространства состояния. Время, согласно уравнений (6) – (10), определено (введено) как общий параметр, исходя из изменения пространственных свойств фронта движения световой волны. Данное представление времени коренным образом отличается от модели абсолютного времени Ньютона, которое исторически имеет свою шкалу τ, реализованную в опыте с периодическим физическим процессом. Причем, для такой системы (физических часов) будет существовать своя мера, связанная с изменением свойств. Другими словами «часы» для измерения времени в обоих случаях будут иметь различную природу, и, естественно, разные шкалы измерений, что будет определено хроногенезом используемых в них физических процессов. Отсюда следует, что модели процессов и физические реализации шкал для этих процессов всего лишь условно связаны между собой, так как отражают только уровень наших знаний о явлении.

3) Другой важный вопрос: можно ли считать величину t, квадрат которой равен математической мере P, временем? Скорее всего, данная величина может выступать лишь одной из характеристик времени. В теории относительности координатное время t явно не определяется, а связано зависимостью (9), поэтому оно является параметром неизвестной природы. Данная величина коренным образом отличается от измеряемого часами времени τ, эти величины имеют разную природу и, естественно, что при построении систем измерений для них должны быть созданы разные шкалы. Для величины τ существует общепризнанная система и шкала измерений, для величины t такой шкалы нет, и такая задача в физике даже не ставилась. Глубоко не вдаваясь в суть проблемы, Эйнштейн ответил на вопрос о природе времени очень просто: время есть то, что измеряется часами. Таким образом, в самом начале постановки всей задачи принято, что указанные величины тождественно равны между собой в любой координатной системе как неподвижной, так и движущейся. Однако, шкала величины τ построена на использовании периодических процессов, генерирующих регулярные события, а шкала величины t должна быть разработана с учетом генерации

[1] наверное, возникновение общей теории относительности как следующего этапа развития СТО, в какой-то степени связано с желанием внести в теорию более наглядное физическое содержание.

событий, основанных на использовании процессов равномерного и прямолинейного движения материальных тел со скоростями, соизмеримыми со скоростями света, или процессов движения света в вакууме. В этом случае пока нет идей, как это можно сделать, не говоря уже об устройствах для измерений величины t (или t') с учетом свойств системы XYZ (или $X'Y'Z'$). Кроме того, величина τ изначально по определению аддитивна, является внешней переменной и соответствует понятию системы положительных скалярных величин, т.е. обладает свойствами транзитивности, коммутативности и монотонности сложения, возможности реализации деления и т.д. Этого не скажешь о величине t, так как эта скалярная функция нелинейна относительно параметров свойств согласно зависимости (9).

Подводя итог всему сказанному, можно отметить, что величина τ, как внешняя независимая переменная, не будет зависеть от скорости перемещения координатной системы. В свою очередь, величина t, как внутренняя переменная, может зависеть от скорости перемещения координатной системы, так как ее значение определяется свойствами (координатами) наблюдаемого объекта. Таким образом, часы, измеряющие время по шкале τ, будут идти одинаково во всех инерциальных системах отсчета, а часы, измеряемые время по шкале t, могут идти медленнее в движущихся инерциальных системах отсчета, причем в первом и втором случае – это устройства различной природы.

4) Таким образом, системы определения (измерения) времени в представлениях специальной теории относительности и современной хронометрии относятся к разным фундаментальным концепциям времени. Сегодня исходная шкала времени в теории относительности в «неподвижной» инерциальной системе отсчета бездоказательно формируется из тождественности с абсолютной шкалой времени, т.е. $t = \tau$. Аналогично, в подвижной инерциальной системе координат $t' = \tau'$ – ведь «время есть то, что измеряется часами» (Эйнштейн). Насколько правомерно подобное априори принятое допущение в теории относительности не оговаривается, прямым опытом данная гипотеза никак не подтверждена. С другой стороны, как видно из (9) – (10), время t и t' может быть определено через координаты движения (через свойства систем). Получается, что время в теории относительности задано как-бы два раза, причем разными способами с использованием часов различной природы. При этом из модели следует вывод о «замедлении» времени t' в движущейся системе и весь этот вывод переносится на реальность.

5) Согласно приведенных результатов, можно по иному подойти к четырехмерному формализму Минковского, где не будет необходимости вводить комплексную величину $u = ict$ $\left(i = \sqrt{-1}\right)$ для представления инварианта группы Лоренца $S = x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2$ в виде $S = x^2 + y^2 + z^2 + u^2$. Если использовать действительную переменную, которая пропорциональна шкале эмпирического времени $\tau : u = \alpha\tau$, то можно рассматривать четырехмерное пространство-время в действительной области с использованием евклидовых метрик. Константа α будет устанавливать соответствие между шкалами измерения времени и расстояния в принятых измерительных системах. Это дает возможность определить физический смысл интервала S, что невозможно сделать в геометрическом формализме Минковского. Кроме того такой подход можно развить на формализм многомерных пространств состояний систем, относительно множества свойств, где могут быть органично связаны между собой как результаты опыта (опытные точки в пространстве состояний), так и модели для их описания (не обязательно геометрические). При этом для систем различной природы возможна формулировка реляционных моделей времени, основанных на учете изменений любых свойств объектов.

Подводя итог, следует сказать, что СТО является физической теорией электромагнетизма и ее исключительное место в физике ничем не оправдано [4].

Для того, чтобы показать справедливость высказанных критических замечаний, изложим различные феноменологические модели представления времени в реляционной концепции времени и попытаемся установить их взаимосвязь на основе данных опыта.

Формализация понятий и определений

Четырехмерное пространство-время, исходя из его представления в виде пространства Минковского, является лишь одной из возможных моделей реальности, причем не самой удачной. Последние годы начинает формироваться новая концепция времени, которая связана с материальными изменениями и в которой время представляет собой лишь величину, отражающую эти изменения. Данный вопрос интенсивно дискутируется, однако, то что в течении почти сто лет идея представления времени как четвертого измерения не принесла особого прогресса в понимании природы времени, является очевидным.

Покажем, что на основе феноменологического подхода может быть предложена реляционно-полевая модель времени, где время представляет собой некоторую меру материальных движений и является проявлением свойств объектов и происходящих с ними изменений. Для этого предложим вариант представления времени в виде многомерного скалярного поля некой величины (величин), характеризующих наблюдаемые материальные движения. С этой целью используем понятие системного времени как одной из функций пространства состояний. Предполагаем, что данная величина представляет собой универсальную комплексную характеристику, которая может быть выражена через параметры свойств объекта (системы) и которая будет тесно связана с абсолютным (эмпирическим) временем.

Понятия и определения

Будем рассматривать объекты и системы различных классов (физические, биологические, социальные и т.д.), которым свойственно многообразие форм материальных движений. В самом общем виде под материальным движением будем подразумевать любое наблюдаемое изменение или взаимодействие объектов. Особо подчеркиваем, что суть любых движений выражается в изменениях состояний объектов. Исходя из этого, известный афоризм Гераклита «Нельзя дважды войти в одну и ту же реку» образно отражает сущность всех наблюдений, связанных со временем. Любые объекты, процессы и явления необратимо изменяются с течением времени. Даже самые простые циклические процессы, например, ход часов или периодические вспышки света, необратимы и постоянно требуют затрат энергии на поддержание, иначе они закономерно затухают. Из сказанного следует, что в природе невозможно *абсолютно точное и полное* повторение состояний объектов во времени естественным путем. Это основное суждение, которое мы априори принимаем за фундаментальное и объективное свойство феномена времени.

Примем следующие определения и понятия.

Система (*объект*) – совокупность взаимосвязанных элементов, находящихся в отношениях и связях между собой и образующих некоторую целостность, единство. *Класс* систем (объектов) – множество однотипных объектов, обладающих общими свойствами и качественными признаками. *Свойство* – объективная и атрибутивная характеристика, которая отражает некоторый существенный и неотъемлемый признак или отличительную особенность объекта. *Параметр* свойства – количественная величина, характеризующая свойство объекта и имеющая численное значение.

Под *состоянием* объекта (системы) будем подразумевать совокупность его свойств и текущих значений их параметров, которые формируются под действием внешних и внутренних условий в конкретный момент наблюдения за поведением объекта. Считаем также известными все определения для различных свойств: местоположения, направления, длины, площади, формы, объема, массы, плотности, упругости, скорости, цвета, численности, рождаемости, смертности, стоимости и т.д.

Введем следующие дополнительные определения. *Событие* – любой наблюдаемый факт, связанный с материальными движениями, который выражается в изменении состояния объекта (системы). *Последовательность* событий – последовательный ряд однородных событий, происходящих одно за другим в определенные моменты наблюдения, которые могут быть пронумерованы в нарастающем порядке при совершении определенного процесса. Введем также понятие *одновременности* – существование разных событий в один и тот же момент наблюдения. Это позволяет нам использовать понятия раньше и позже для событий, которые характеризуют материальные движения. Будем предполагать, что изменения состояний объектов отражаются в соответствующих событиях, которые регистрируются в наблюдаемых процессах. Поэтому определим *процесс* как закономерное изменение состояния объекта в последовательные моменты наблюдения, связанное с материальными движениями. Нас, в первую очередь, будут интересовать последовательности однородных событий, которые свойственны определенному классу объектов, постоянно регистрируются при длительном наблюдении за этими объектами и отражают эволюционные изменения в их состояниях (отражают хроногенез естественных процессов [4]).

Использование понятия «событие» связано с необходимостью построения темпорологических моделей пространства состояний для определенного класса объектов. Время в этом плане будем рассматривать как общее свойство опытных данных, отражающих состояние и развитие (функционирование) конкретного класса объектов (систем). Поэтому «событие» будет характеризовать причинно-следственный порядок, формирующийся в данном пространстве, на основе изучения реализуемых в процессах последовательностей простых и совместных событий наблюдения значений параметров свойств или других сложных событий, а также их вероятностей.

Это не единственная возможность построения темпорологической модели пространства состояний. В зависимости от используемых гипотез, как будет показано далее, можно говорить о вероятностной, геометрической, алгоритмической, эмпирической и т.д. темпорологической модели пространства состояний. Однако вероятностно-статистический подход, на наш взгляд, является наиболее продуктивным при построении феноменологической теории времени.

Таким образом, свойства будут являться основными характеристиками состояния объекта, а изменения свойств и связанные с ними наблюдаемые последовательности событий – основными характеристиками процесса. Свойства и события в процессе наблюдения отражают в совокупности состояние объекта и все происходящие с ним изменения. При этом считаем, что в любой момент наблюдения состояние объекта однозначно определено значениями всех его параметров z_k (в общем случае n), а процесс – регистрируемыми событиями A_j (в общем случае m). Предположим, что при совершении произвольного процесса l, в котором изменяется состояние объекта, параметры свойств всегда измеряемы, а события всегда регистрируемы.

Для указанного случая построим среду моделирования в виде пространства состояний E^n, где координатные оси соответствуют независимым переменным состояния $z_1, z_2, \ldots, z_n$ – параметрам свойств.

Теперь приведем несколько понятий и определений, необходимых для развития представлений о времени как меры интенсивности и длительности процессов и характеристики последовательной смены состояний объектов.

Эмпирическое время – это время, определение которого основано на применении некоторой эмпирической шкалы, использующей для непосредственной оценки периодический физический процесс.

Таким образом, эмпирическое время можно рассматривать как установленную опытным путем сравнительную меру одновременности событий для процессов материальных движений различных объектов. В зависимости от того, какой эталонный объект и реализуемый им процесс будет принят в качестве часов, существует несколько различных шкал измерения времени.

Эмпирическое время, как объект измерения, привносится извне в процесс наблюдения, исследования или моделирования системы любой природы. Данное время будем определять по атомной шкале τ, в основу которой положены электромагнитные колебания, излучаемые атомами или молекулами при переходе из одного энергетического состояния в другое.

Измерения времени в данной шкале связаны с применением физического процесса, использующего факт периодического излучения атома изотопа цезия 133. Сегодня международная атомная шкала является основной эталонной шкалой измерения времени в практической деятельности человека.

Данная система включает в себя часы как устройство для определения времени, реализующее периодический физический процесс, шкалу и единицу измерения времени, а также общепринятые процедуры и методы измерения времени. При этом атомные часы являются эталонным устройством для определения эмпирического времени.

В процессе моделирования будем считать, что эмпирическое время есть физическое воспроизведение универсальной арифметизированной шкалы времени в смысле абсолютного времени Ньютона. Шкала эмпирического времени является шкалой интервалов. Данная шкала времени ориентирована на измерение длительностей в последовательностях любых событий, так как она построена *вне отношения* к конкретным объектам. Шкала является удобной для относительных сравнений моментов возникновения событий, но она не отражает внутренних закономерностей в изменениях состояний объектов (систем), так как в любой опыт система измерения эмпирического времени привносится извне как закономерность, характерная для систем совсем иной природы.

В отличие от данного способа измерения времени существует и другой способ измерения: каждой системе (объекту, классу объектов) может быть поставлена в соответствие некоторая собственная шкала отсчета времени (набор шкал). Данная шкала будет основана на использовании характерной для системы наблюдаемой последовательности событий, поэтому она должна быть тесно связана с изменением свойств этой системы. В этом плане будем использовать следующее определение.

Системное время – комплексная характеристика, в целом характеризующая состояние объекта (системы) при динамических изменениях и использующая для непосредственной оценки внутренний процесс изменения его состояния.

Системное время отражает хроногенез процессов, протекающих в конкретных объектах или системах, и является относительной величиной, характеризующей в динамике меру отклонения состояний изучаемого объекта от опорных состояний, установленных по соглашению для определенного класса объектов (систем).

Под хроногенезом будем понимать комплекс особенностей и закономерностей формирования и течения во времени естественных процессов, характерных для определенного класса объектов.

Для конкретных объектов (систем) системное время устанавливается на основании шкалы, в основу которой положены закономерности изменения параметров свойств и связанных с этим событий. Шкала системного времени будет являться шкалой отношений для объектов, входящих в один класс.

Таким образом, эмпирическое и системное время являются различными мерами для оценки состояний объектов и изменений этих состояний.

Крайне важный вопрос связан также с темпорологической оценкой процессов, совершаемых объектами. В наблюдаемых процессах переход из одного состояния объекта в другое может осуществляться за разные периоды времени при различных интенсивностях этих процессов. Поэтому для комплексной оценки процессов будем использовать дополнительную переменную – количество материального воздействия.

Количество воздействия – величина, характеризующая интенсивность и продолжительность процессов изменения состояния объекта (системы) и отражающая воздействие внешней среды и влияние внешних и внутренних условий на объект.

Будем считать, что количество воздействия однозначно характеризует процесс изменения состояния объекта l, может быть определено через некую эмпирическую величину Q_l и принятую по соглашению систему ее измерения. В пространстве состояний переходы объекта из состояния 1 в состояние 2 могут осуществляться при помощи бесчисленного множества процессов l_{12}, поэтому изменение количества воздействия будет с необходимостью определяться заданием этой величины на кривых процессов в целом. Геометрически количество воздействия отражает динамику процессов изменения состояния объектов как многомерных кривых в пространстве E^n.

В заключение функцией состояния (функцией точки) будем называть величину, значения которой при изменении состояния в наблюдаемом процессе не зависят от процесса перехода объекта из одного состояния в другое и определяются только начальным и конечным состоянием объекта. Математически функция состояния является функцией нескольких переменных, ее дифференциал в процессе является полным дифференциалом.

В свою очередь, функцией процесса (функцией линии, например, количество воздействия) будем называть величину, значения которой при изменении состояния объекта зависят от того, по какому пути идет процесс. Дифференциал такой функции не является полным дифференциалом. Математически функция процесса представляется разными функциями нескольких переменных по отношению к различным кривым процессов изменения состояний.

Состояния объектов при моделировании будут изображаться точками многомерного пространства E^n, а процессы изменения состояния – линиями этого пространства.

Опытные факты

Идею создания феноменологической модели представления времени свяжем с опытным фактом существования возможности измерения времени. Данное положение состоит в том, что когда за произвольным объектом ведется полное наблюдение, то можно говорить о том, что в заданный момент времени имеется информация обо всех значениях параметров его свойств. При этом наблюдение значения отдельного свойства можно рассматривать как исход опыта в виде простого регистрируемого события, одновременное наблюдение нескольких значений различных свойств – как совместное событие.

Всегда изучаемое в опыте множество объектов счетное, причем каждый объект может иметь признак, отличающий его от других объектов. Данный признак будем обозначать в виде верхнего индекса в скобках, который будет представлять номер объекта.

Для множества существующих и одновременно наблюдаемых объектов одного класса этот факт можно представить в виде соотношений:

$$\begin{aligned} &\tau \Rightarrow \left\{ z_1^{(1)},\ z_2^{(1)},\ \dots, z_n^{(1)} \right\}; \\ &\tau \Rightarrow \left\{ z_1^{(2)},\ z_2^{(2)},\ \dots, z_n^{(2)} \right\}; \\ &\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ &\tau \Rightarrow \left\{ z_1^{(p)},\ z_2^{(p)},\ \dots, z_n^{(p)} \right\}, \end{aligned} \qquad (32)$$

где $z_k^{(q)}$ – соответственно значения параметров свойств объектов, τ – момент времени наблюдения за объектами, p – количество объектов. Данное соотношение справедливо для любого объекта и любого момента времени, как прошлого, так и настоящего, при условии, что исходные данные о состоянии объекта собирались в процессе наблюдения или опыта. Следует особо отметить, что соотношение (32) справедливо для объектов и систем любой природы. Ранее мы исключили варианты, когда естественным путем одни и те же значения свойств объектов абсолютно точно могут наблюдаться для разных времен τ_1 и τ_2. При этом соотношение (32) нельзя будет описать однозначной функцией, поэтому такие случаи не рассматриваются, так как это противоречит свойству необратимости времени.

Вполне естественно, что здесь возникает вопрос – как быть с искусственными циклическими процессами (например, процессами работы тепловых машин, различных устройств и т.д.). Отметим, что в этом случае обычно в сложном процессе объединяется несколько более простых, но качественно разных, процессов. Для таких систем сложно построить общее пространство состояний, поэтому эти случаи рассматривать не будем.

Соотношение (32) вводит логическое отношение между объектами, из которого следует, что в любой момент наблюдения состояние объекта 1 наблюдается одновременно с состоянием объектов 2, 3 и так далее по всем объектам. Тоже самое можно сказать и о каждом свойстве этих объектов. В целом это строгое отношение порядка, вытекающее из отношения одновременности, которое удовлетворяет свойствам рефлексивности, транзитивности и симметричности, т.е. является отношением эквивалентности. Факт существования соотношения (32) подтверждается множеством опытных данных по измерениям времени.

Если для наблюдаемых p объектов рассматривать значение τ как измеренное время, то условие одновременности наблюдения означает, что в заданный момент всем объектам ставится в соответствие некоторое одинаковое значение эмпирического времени, определенное в соответствии со стандартизированной системой его измерения.

Примем условие существования возможности измерения времени как эмпирический факт, который подтверждается опытом и практикой человечества.

Следующим опытным фактом является то, что очень часто один и тот же процесс изменения состояния объекта в зависимости от внешних и внутренних условий может протекать с различной интенсивностью. Для любого объекта и любого его свойства мы всегда можем определить скорость процесса, связанного с материальными движениями. Поэтому, исходя из опытных данных, в любом наблюдаемом процессе изменения параметра свойства можно задать скорость процесса, которая не обязательно будет постоянной:

$$\upsilon_{z_k^{(q)}} = \left(\frac{dz_k^{(q)}}{d\tau} \right)_{l_z} . \quad (33)$$

Возможность определения в опыте величины $\upsilon_{z_k^{(q)}}$ приводит к обобщенному феноменологическому наблюдению. Этот опытный факт, вытекающий из практики человека, связан с ходом времени, о котором мы образно говорим, что «время течет». Ход времени определяет хроногенез процессов и приводит к тому, что наблюдаемые события настоящего становятся событиями прошлого, а произошедшие события прошлого отодвигаются еще глубже во времени. Сегодня практически во всех физических моделях времени данный опытный факт не учитывается. Для того, чтобы показать течение измеряемого нами времени необходимо задать некоторую величину, систему отсчета, реальную или абстрактную среду, по отношению к чему можно было бы показать необратимое течение времени, которое отражается в наблюдении событий, характерных для процессов. Для определенного класса объектов подобная величина (среда) должна формироваться из опыта. Поэтому, чтобы учесть факт течения времени и возможность задания в совокупности скорости изменения параметров свойств в произвольном процессе, следует использовать гипотезу о существовании некоторой величины, которая тесно связана с течением времени и однозначно характеризует хроногенез процессов материальных движений для данного класса объектов. По аналогии с логикой построения термодинамики, где есть понятие количества теплоты, в этом плане будем использовать понятие количества воздействия и будем считать, что эта величина комплексно характеризует уровень и интенсивность воздействий на объекты при совершении процессов. Будем также считать, что количество воздействия тесным образом связано с системным временем.

Тогда для любого процесса материального движения l подобные эмпирические уравнения, связывающие величину Q_l с системным временем θ, могут быть представлены в виде:

$$c_l = \left(\frac{dQ}{d\theta} \right)_l . \quad (34)$$

Определим величину c_l как темпоральность процесса l.

В каждом конкретном случае по опытным данным необходима проверка гипотезы существования величины Q_l, которая характеризует данный род материального движения, а также разработка системы измерения или оценки данной величины. Отметим, что это не простая задача, требующая накопления множества опытных данных. Однако, только после этого и при наличии систем оценки системного времени и величины

Q_l, можно говорить о возможном определении величин c_l, которые будут в целом отражать темпоральную интенсивность разных процессов в различных условиях.

Практический опыт всей термодинамики указывает на то, что такие эмпирические величины могут быть определены.

В заключение данного раздела отметим, что в качестве опытных данных будем использовать массивы темпоральных данных. Под темпоральными данными понимаем массивы наблюдений, хранящие временные данные. В широком смысле – это произвольные данные, которые явно или неявно связаны с определенными датами или промежутками времени. Особенность таких данных в том, что они несут в себе информацию о любых процессах, происходящих в природе и обществе.

Положения феноменологической теории времени

Используем среду моделирования в виде пространства состояний E^n, где координатные оси соответствуют независимым переменным $z_1, z_2, ..., z_n$. Пусть в пространстве E^n представлены опытные данные в виде состояний множества объектов, число которых равно p. Так как мы опирается на феноменологический подход, то считаем, что все объекты наблюдаемы в опыте, который является единственно возможной основой для создания и проверки теорий.

Пусть каждое состояние любого объекта однозначно характеризуется n независимыми переменными состояния $z_1, z_2, ..., z_n$, причем область определения для каждой переменной распространяется на всю положительную числовую ось $z_k(0, \infty)$, а системы измерения переменных стандартизованны. Начало отсчета для переменных выбирается таким образом, чтобы соответствовать нулевым значениям параметров свойств.

Рассматриваем существование объектов только в материальных движениях (состояния объектов должны изменяться с течением времени), причем подчеркиваем, что мы изучаем преимущественно естественные (самопроизвольные) процессы, связанные с изменением состояний объектов.

Предположим, что в пространстве E^n имеется замкнутая область Ω^n некоторого множества точек M. Область Ω^n будем называть наблюдаемым пространством состояний. Процесс абстрактного моделирования, в отличие от процесса реального наблюдения, мы можем соотносить с бесконечным количеством объектов и их состояний, поэтому будем считать, что точки M непрерывно заполняют область Ω^n. Таким образом, Ω^n будем рассматривать как многомерное пространство точек M, каждая из которых соответствует определенному состоянию и которому может соответствовать некоторый объект (состояние объекта), не обязательно существующий в реальности (наблюдаемый в опыте).

Так как в опыте рассматривается ограниченное количество объектов, равное числу p, то на начало наблюдений в области Ω^n можно отобразить p точек $M^{(q)}$, каждая из которых соответствует состоянию определенного q-того наблюдаемого объекта. Каждый объект осуществляет некоторый процесс материального движения из прошлого в настоящее, поэтому с течением эмпирического времени τ каждая точка $M^{(q)}$ будет описывать многомерную кривую. Данная кривая в многомерном пространстве является линией процесса и каждому объекту будет соответствовать своя собственная кривая. Кроме того, классу объектов будет соответствовать свой спектр кривых для p процессов. Каждой кривой, а также всему спектру кривых в целом будут соответствовать последовательности состояний и событий, отражающих изменения в состояниях объектов.

Хотя определение значений параметров свойств изучаемых объектов чаще всего осуществляется дискретно в заданные моменты наблюдения, однако для упрощения задачи будем считать, что кривые процессов непрерывны. Поэтому при моделировании условимся рассматривать непрерывное (континуальное) пространство состояний E^n.

Свойство необратимости времени и факты наблюдения существующих объектов во времени закономерно приводят к представлениям о непрерывности процессов. Данные линии не имеют особых и кратных точек. Первый случай характеризуется тем, что для линии процесса производные всех параметров свойств по времени одновременно равны нулю, второй случай – тем, что одна и та же точка M может отвечать двум и более значениям эмпирического времени τ.

Теперь предположим, что в момент времени τ_0 имеем таблицу темпоральных данных наблюдений объекты-значения параметров размером $p \times n$. Если для всех объектов проведено m наблюдений в различные моменты времени, то общее число опытных данных составит $N = p \times n \times m$. При этом каждому процессу (из общего их числа p)

соответствует m упорядоченных во времени опытных точек. Таким образом, в пространстве состояний E^n весь спектр кривых будет отображаться $p \times m$ состояниями (точками $M^{(q)}$). Эти опытные данные будем рассматривать как ограниченную выборку точек из непрерывного пространства состояний E^n. Все опытные точки и кривые процессов будут лежать в области Ω^n.

Изложение феноменологической теории будем основывать на постулировании существования многомерного поля системного времени. Исходя из этого, каждой точке $M(z_1, z_2, ..., z_n)$ пространства состояний E^n поставим в соответствие значение времени θ. Это позволяет ввести гипотезы для системного времени и возможности его скалярного представления.

1. Пусть в пространстве состояний E^n каждой многомерной точке M поставлено в соответствие действительное число θ, которое является результатом опыта и которое будем называть системным временем.

2. Величина $\theta(M)$ является функцией точки и образует скалярное поле, которое является непрерывным и упорядоченным в пространстве E^n.

Данные гипотезы отражают опытные факты, которые сегодня связаны с понятием времени и возможностью его измерения. Далее мы должны построить систему измерения времени θ по имеющимся опытным данным.

Так как системное время является функцией точки, то скалярное поле величины $\theta(M)$ представляет собой поле, через каждую точку M которого в пространстве состояний E^n проходит только одна поверхность уровня. Во всех точках поверхности уровня значение величины θ будет одинаковым. Это следует из того, что один и тот же объект не может находиться в одном и том же времени в двух состояниях. Из данной модели следует, что если протекает процесс (изменяются свойства объекта), то при возрастании времени должен изменяться, как минимум, хотя бы один параметр свойства объекта.

Исходя из последовательности событий часов, все поверхности уровня системного времени могут быть пронумерованы в нарастающем порядке. Поэтому каждой поверхности уровня, кроме системного времени, может быть присвоено значение величины τ, которое возрастает с течением эмпирического времени. Таким образом, наблюдения, выполненные в шкале эмпирического времени, «присваивают» всем поверхностям уровня определенные значения τ, в зависимости от последовательности однородных событий, которые генерируются в часах. Другими словами, текущие значения величины τ в шкале эмпирического времени *упорядочивают* поверхности уровня системного времени. Для этого используется шкала системного времени для опорного объекта. В зависимости от конкретных особенностей спектры кривых процессов в различных областях пространства E^n могут иметь свои закономерности относительно времени, однако неуклонное возрастание (необратимость) времени – это фундаментальная особенность для всех поверхностей уровня. Таким образом, мы рассматриваем только определенный (и достаточно узкий) класс многомерных геометрических пространств, которые могут быть упорядочены временем.

Различные процессы, которые осуществляются между некоторым произвольным состоянием M и любым другим близлежащим состоянием, будут отличаться между собой по интенсивности и направлению осуществления материальных движений. Для того, чтобы логически обосновать возможность осуществления процессов как непрерывного перехода между двумя ближайшими состояниями любого объекта, при построении модели времени необходимо использование дополнительных гипотез.

Исходя из этого, рассмотрим функцию количества материального движения, которую представим в виде $Q = Q(z_1, z_2, ..., z_n)$. Предположим, что скалярная функция Q для каждого реализуемого процесса существует и пока не будем останавливаться на природе этой величины. Просто считаем, что имеется однозначная связь данной величины с фактами наблюдений или опыта, которые отражают результаты материальных движений, связанных с изменениями состояний объектов в конкретных процессах. Данная функция, наряду с системным временем, также будет отражать темпоральные особенности осуществления процессов в окрестности любого состояния.

Изложим дополнительные гипотезы в следующем виде.

3. Пусть в пространстве состояний E^n каждому процессу l, проходящему через точку M, ставится в соответствие эмпирическая величина Q, которую будем называть количеством воздействия. Данная величина является функцией процесса и определяется по результатам опыта.

4. Для всего многообразия кривых, проходящих через произвольную точку M, изменения величин Q и θ однозначно связаны между собой, при этом для любого элементарного отрезка линии процесса l

справедливо соотношение $dQ = c_l d\theta$, где c_l – эмпирические величины, которые определяются по данным опыта. Эти величины будем называть темпоральностями процесса l.

В целом, на абстрактном уровне предварительное вербальное описание феноменологической, и, в частности, реляционно-полевой модели времени завершено. Целью описания являлся учет при создании модели некоторых основных свойств времени. Введя понятие одновременности и, абстрактно связав его с поверхностью уровня системного времени, которой в заданный момент времени соответствуют наблюдаемые свойства объекта и соответствующие регистрируемые события, мы тем самым, обеспечили формализацию понятий «раньше» и «позже». Так как можно пронумеровать поверхности уровня системного времени в нарастающем порядке с помощью часов по шкале τ, то тем самым учтено свойство времени, связанное с его способностью упорядочивать события. Свойство течения времени описано введением особой величины, по отношению к которой можно отразить становление событий во времени, которые отражают реализуемые процессы. Необходимость этого связана с тем, что течение времени нельзя смоделировать по отношению к самому себе. Универсальность времени при моделировании определена представлением процессов изменения состояний объектов любой природы в обобщенном формализованном пространстве состояний. Свойство необратимости времени обеспечено тем, что состояния объектов строго формируются только в порядке возрастания времени, и ни один объект не может наблюдаться одновременно в двух и более временах.

Для построения феноменологической модели представления времени используем гипотезу, что скалярное поле системного времени может быть аналитически описано. Будем считать, что вблизи точки M осуществляется процесс изменения состояния некоторого объекта. Для задания скалярного поля времени $\theta = \theta(M)$ как функции независимых переменных $z_1, z_2, \ldots, z_n$ необходимо определить функцию точки. Пусть в окрестности любой точки скалярное поле системного времени может быть с достаточной точностью приближено аналитической функцией вида $\theta(M) = t(M)$, причем $t(M) = t(z_1, z_2, \ldots, z_n)$. Данную функцию при разработке модели следует задать.

В настоящее время в области опытного изучения свойств времени отсутствуют феноменологические закономерности, которые могли бы иметь общесистемный смысл и позволяли бы обобщать опытные данные на уровне зависимостей. Поэтому выбор функций $t = t(z_1, z_2, \ldots, z_n)$ может осуществляться исходя из имеющихся представлений об осуществлении различных процессов движения или из существующих подходов моделирования, принятых в науке, например, геометрического, вероятностного и т.д. Естественно, что разные виды функций $t = t(z_1, z_2, \ldots, z_n)$ могут соответствовать объектам и системам различной природы. В данном случае, чтобы сузить область исследований, будем использовать функции $t = t(z_1, z_2, \ldots, z_n)$, входящие в класс однородных функций. Этим самым мы охватываем основные классы моделей, которые часто используются и, в частности, геометрические, мультипликативные, степенные, аддитивные и т.д.

Определим скалярную функцию $t = t(z_1, z_2, \ldots, z_n)$ как модель системного времени в пространстве состояний E^n. Основное отличие скалярного поля системного времени $\theta(M)$ от его модели $t = t(z_1, z_2, \ldots, z_n)$ состоит в том, что поле θ не связано с выбором системы координат, а функция $t(z_1, z_2, \ldots, z_n)$ связана с выбором координатных осей для независимых переменных $z_1, z_2, \ldots, z_n$.

Однородная функция согласно формулы Эйлера представляется в виде:

$$\alpha t = z_1 \frac{\partial t}{\partial z_1} + z_2 \frac{\partial t}{\partial z_2} + \ldots + z_n \frac{\partial t}{\partial z_n}, \qquad (35)$$

где α – степень однородности функции t.

Из соотношения $dQ = c_l\, d\theta$ и связи величины θ со скалярной функцией t, следует:

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial z_1}\right) = c_1 \left(\frac{\partial t}{\partial z_1}\right); \quad \left(\frac{\partial Q}{\partial z_2}\right) = c_2 \left(\frac{\partial t}{\partial z_2}\right); \ldots;$$

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial z_n}\right) = c_n \left(\frac{\partial t}{\partial z_n}\right), \text{ откуда}$$

$$\frac{z_1}{\alpha c_1} \frac{\partial Q}{\partial z_1} + \frac{z_2}{\alpha c_2} \frac{\partial Q}{\partial z_2} + \ldots + \frac{z_n}{\alpha c_n} \frac{\partial Q}{\partial z_n} = t, \qquad (36)$$

где c_k – темпоральности процессов изменения состояния объектов, соответствующие переменным состояния $z_1, z_2, \ldots, z_n$ и являющиеся функциями этих переменных.

Характеристики данного линейного неоднородного уравнения в частных производных первого порядка определяются системой дифференциальных уравнений:

$$\alpha c_1 \frac{dz_1}{z_1} = \alpha c_2 \frac{dz_2}{z_2} = \ldots = \alpha c_n \frac{dz_n}{z_n} = \frac{dQ}{t} = ds. \qquad (37)$$

В свою очередь, уравнение Пфаффа для (36) будет иметь вид:

$$\frac{z_1}{c_1}dz_1 + \frac{z_2}{c_2}dz_2 + \ldots + \frac{z_n}{c_n}dz_n + \alpha\, t\, dQ = 0\,. \quad (38)$$

Для того, чтобы решить поставленную задачу необходимо задать вид модели системного времени $t(z_1, z_2, \ldots, z_n)$, далее определить функцию $Q = Q(z_1, z_2, \ldots, z_n)$ для конкретного процесса и потом по опытным данным идентифицировать полученную модель, разработав предварительно системы измерения величин θ и Q.

Здесь возможны разные подходы, связанные с созданием различных моделей описания системного времени.

Вероятностная среда моделирования времени

Будем считать, что модельное представление времени может быть связано с вероятностями наблюдаемых событий, которые отражают процессы изменения состояний объектов. Тогда используем модель системного времени $t(z_1, z_2, \ldots, z_n)$ в виде геометрической вероятности точки многомерного пространства. Распространив это соотношение на всю область изменения величины, получим:

$$t = \beta_t \frac{z_1 z_2 \ldots z_n}{R}\,, \quad (39)$$

где $R = z_{10}\, z_{20} \ldots z_{n0}$, β_t – постоянная шкалирования, $z_{10}, \ldots, z_{n0}$ – параметры опорного состояния, и в частности, максимально наблюдаемые значения параметров свойств.

Проведя преобразования, получим из (37) энтропию состояния $(\alpha = n)$:

$$s - s_0 = c_1 \ln\left(\frac{z_1}{z_{10}}\right) + c_2 \ln\left(\frac{z_2}{z_{20}}\right) + \ldots + c_n \ln\left(\frac{z_n}{z_{n0}}\right), \quad (40)$$

где s_0 – значение энтропии в опорном состоянии.

При значении изменения величины $dQ = 0$ из уравнения (38) может быть определена математическая функция $P(z_1, z_2, \ldots, z_n)$, которая имеет вид потенциала (меры) пространства состояний:

$$P - P_0 = \frac{1}{2}\left(\frac{z_1^2 - z_{10}^2}{c_1} + \frac{z_2^2 - z_{20}^2}{c_2} + \ldots + \frac{z_n^2 - z_{n0}^2}{c_n}\right), \quad (41)$$

где P_0 – значение потенциала в опорном состоянии.

Энтропия и потенциал являются естественными криволинейными координатами пространства состояний для изучаемого класса объектов.

Для любого процесса изменения состояния объекта при возможности представления его уравнения в параметрическом виде относительно эмпирического времени уравнение (36) может быть решено.

В данной модели построение по опытным данным систем измерения величин θ и Q может быть основано на непосредственном определении статистических вероятностей совместных событий одновременного наблюдения значений параметров свойств, которые однозначно характеризуют состояния объекта. Пример определения этих величин будет приведен далее.

Геометрическая среда моделирования времени

Несколько иные результаты могут быть получены, если рассматривать многомерное пространство E^n, как геометрическое пространство. Будем считать, что многомерное пространство состояний E^n эвклидово. Тогда используем модель системного времени в виде геометрического инварианта пространства состояний:

$$t = z_1^2 + z_2^2 + \ldots + z_n^2\,, \quad (42)$$

Если составить характеристики для уравнения (36), то для этого случая получим энтропию состояния в виде:

$$s - s_0 = \frac{2}{n}\left(c_1 \ln\left(\frac{z_1}{z_{10}}\right) + c_2 \ln\left(\frac{z_2}{z_{20}}\right) + \ldots + c_n \ln\left(\frac{z_n}{z_{n0}}\right)\right) \quad (43)$$

а мера пространства состояний может быть представлена следующим образом:

$$P - P_0 = \frac{1}{2}\left(\frac{z_1^2 - z_{10}^2}{c_1} + \frac{z_2^2 - z_{20}^2}{c_2} + \ldots + \frac{z_n^2 - z_{n0}^2}{c_n}\right). \quad (44)$$

В данной модели построение систем измерения величин θ и Q может быть основано, также как и в СТО, на оценке геометрических расстояний в пространстве состояний E^n. Для этого необходимо использовать данные об опытных точках.

Эмпирическая среда моделирования времени

Если строить линейную шкалу измерения системного времени относительно параметров свойств, то модель $t = t(z_1, z_2, \ldots, z_n)$ является аддитивной функцией вида: $t = \alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2 + \ldots + \alpha_n z_n$. Для этого случая энтропия состояния будет иметь вид:

$$s - s_0 = \frac{1}{n}\left(c_1 \ln\left(\frac{z_1}{z_{10}}\right) + c_2 \ln\left(\frac{z_2}{z_{20}}\right) + \ldots + c_n \ln\left(\frac{z_n}{z_{n0}}\right)\right) \quad (45)$$

а функция потенциала будет представлена уравнением (41).

В данной модели построение по опытным данным систем измерения величин θ и Q может быть основано на построении линейных шкал системного времени относительно параметров свойств. Примеры создания таких шкал даны ниже.

Таким образом, можно предложить различные варианты реляционно-полевых моделей представления времени, основанных на исследовании особенностей опытных данных.

Очевидно, что получение, накопление и обработка опытных данных о времени должны касаться, в первую очередь, естественных процессов для всех основных классов объектов и систем.

В целом методика построения феноменологической модели времени и идентификация полученных зависимостей по опытным данным будет заключаться в следующем:

- составляется массив темпоральных данных для определенного класса объектов;
- с использованием опытных данных разрабатывается система измерений системного времени θ и количества воздействия Q_l, исходя из принятой вероятностно-статистической, геометрической, эмпирической и т.д. модели времени. Для каждой опытной точки M_i находятся значений системного времени, аналогично для каждого естественного процесса (или участка процесса) определяется величина Q_l;
- далее подбирается уравнение состояний для изучаемого класса объектов вида $\theta = t(z_1, z_2, ..., z_n)$ и проверяется гипотеза о принятом виде модели времени;
- для каждого объекта согласно зависимости $dQ = c_l d\theta$ находится темпоральность наблюдаемых процессов для кривых в целом или участков кривых, описывающих эти процессы;
- далее на основе полученных моделей проводится эмпирическое изучение особенностей и закономерностей полевой структуры времени, отражающей свойства темпоральных данных, характеризующих изучаемый класс объектов.

Общий процесс построения феноменологической модели времени для различных классов объектов покажем ниже на примерах.

Построение шкал системного времени

Создание измерительных шкал системного времени является основополагающим вопросом всей теории темпорологии. Такие шкалы могут быть построены на основе использования в качестве темпометрического свойства эмпирического времени или статистической вероятности характерных событий. Это позволило бы сформировать экспериментальную базу темпорологии, которая отличалась бы обширным объемом опытных данных по отношению к системам различной природы, а не только опытными данными о развитии физических систем.

В первом случае для того, чтобы построить измерительную шкалу необходимо увязать эмпирическое время τ с системным временем, которое зависит только от значений параметров свойств. Для этого шкала системного времени θ строится с учетом соответствия этой величины, с одной стороны, параметрам свойств состояния объекта (переменным состояния), а с другой стороны, переменной, однозначно отражающей универсальное темпометрическое свойство времени. Таким темпометрическим свойством и может быть принято эмпирическое время в виде существующей метрической шкалы.

Шкала системного времени реализуется следующим образом. Среди всех изучаемых объектов одного класса выбирается опорный объект. Для четко заданного периода эмпирического времени $\Delta\tau$ рассматривается реальный процесс развития этого объекта от начального состояния M_0 (точка 1) до конечного состояния M'_0 (точка 2). Данные состояния являются реперными точками для построения линейной шкалы системного времени θ. Весь интервал времени $\Delta\tau$ разбивается на одинаковое количество равных интервалов $\sigma = \frac{\Delta\tau}{n}$, где n число интервалов. Выбираем темпометрический объект в виде атомных часов, при этом эмпирическое время τ, будет рассматриваться как темпометрическое свойство, характеризующее процессы изменения свойств объектов одного класса. Это позволяет создать шкалу для измерения системного времени и определить единицу измерения σ. Если состояние M_0 принять за ноль единиц системного времени, а состояние M'_0 – за 100 единиц системного времени, то уравнение шкалы будет иметь вид линейного уравнения:

$$\theta(\tau) = \frac{100}{\tau_2 - \tau_1}(\tau - \tau_1) \qquad (46)$$

Далее каждой точке шкалы ставятся в соответствие наблюдаемые значения параметров свойств и устанавливается уравнение шкалы или с помощью регрессионного анализа или путем использования уравнения прямой в многомерном пространстве E^n. Схема построения линейной шкалы системного времени приведена на рисунке 3. После создания шкалы все состояния изучаемых объектов можно измерить в шкале системного времени, исходя из наблюдаемых значений параметров свойств.

Теперь на двух примерах покажем, как предложенный метод может быть использован на практике.

Например, рассмотрим регионы России, используя при анализе существующие базы темпоральных данных. Для исследований была сформирована статистическая база данных социально-экономических показателей субъектов РФ [19]. Она включала информацию по каждому из 80 регионов для более 40 показателей за 14 лет (с 2005 по 2018 гг.).

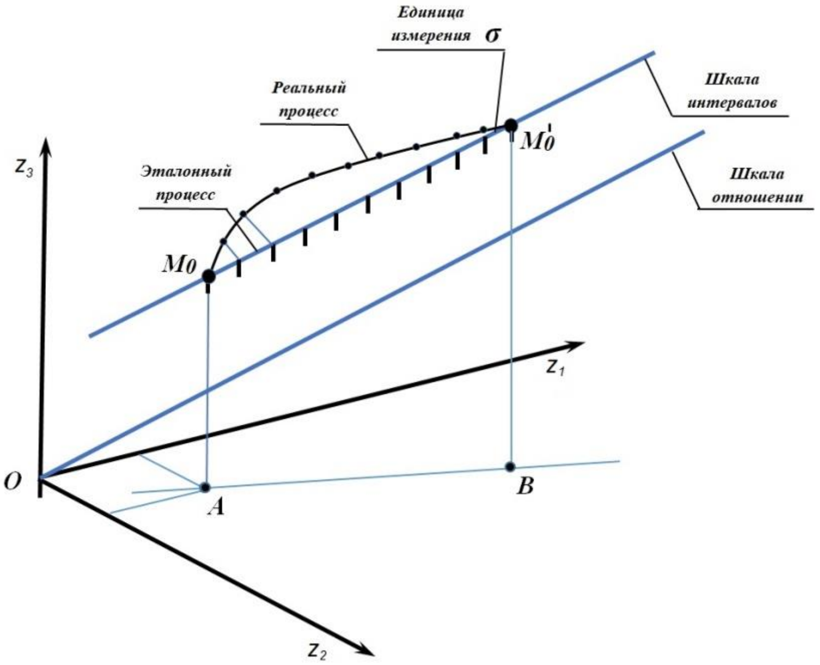


Рис. 3. – Построение линейной шкалы системного времени

Для примера выберем для анализа данных в качестве переменных состояния семь удельных показателей развития, характеризующих сектор реальной экономики:

- объем товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами:

  - добыча полезных ископаемых z_1;

  - обрабатывающие производства z_2;

  - производство и распределение энергии, газа и воды z_3;

- продукция сельского хозяйства z_4;
- объем работ в строительстве z_5;
- объем платных услуг населению z_6;
- оборот розничной торговли z_7.

Размерность всех перечисленных величин – млн. руб./тыс. чел. (тыс. руб./чел.).

Создадим измерительную шкалу на основе указанных семи переменных состояния. Будем использовать для построения линейной шкалы метод двух точек, для чего выберем опорный объект и несколько реперных состояний этого объекта. В качестве первого реперного состояния измерительной шкалы (точка M_0) примем состояние Белгородской области в 2005 году, в качестве второго реперного состояния (точка M_0') – ее состояние в 2015 году. Другие реперные точки шкалы, как это видно из приведенной на рисунке 4 таблицы данных, будут определяться состояниями объекта для нескольких годов статистических наблюдений в период с 2005 по 2018 годов. В данном случае условно принято, что системное время θ измеряется в градусах этой величины. Под градусом понимаем относительную единицу измерения в шкале системного времени.

Измерительная шкала формировалась путем установления линейной зависимости между величиной θ и удельными показателями развития $z_1 \div z_7$. Значения θ на интервале времени 2005–2018 гг. зависели линейно от времени: 2005 г. – $0\,°\Gamma$, 2006 г. – $10\,°\Gamma$ и т.д. до 2018 г. – $130\,°\Gamma$.

Изменение одного деления было принято за единицу измерения шкалы ($1\,°\Gamma$), каждому году соответствовало $10\,°\Gamma$ (рис.4).

Уравнение шкалы системного времени относительно всех семи переменных состояния в данном случае имеет вид:

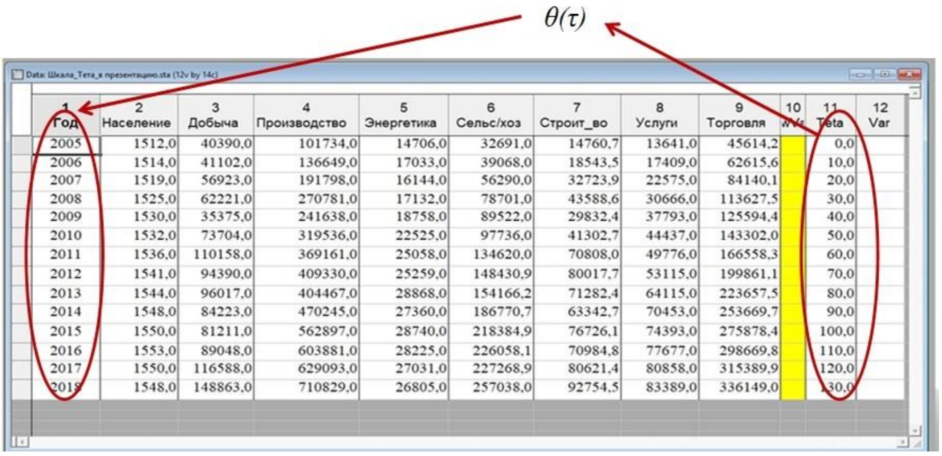
$$\theta = -27{,}754 + 0{,}101\,z_1 + 0{,}128\,z_2 + 0{,}490\,z_3 - \ldots$$

$$\ldots - 0{,}254\,z_4 - 0{,}0219\,z_5 + 0{,}417\,z_6 + 0{,}470\,z_7\,. \quad (47)$$

Максимальная погрешность шкалы не превышает $0{,}57\,°\Gamma$, средняя $0{,}38\,°\Gamma$, относительная – 1,1%. Реперные точки для двух годов (2008, 2009) были исключены.

Величину, получаемую путем прибавления константы $a_0 = 27{,}754$ к значению системного времени θ, назовем абсолютным системным временем и будем обозначать его буквой Θ $(\Theta = \theta + 27{,}754)$. При $\theta_0 = -27{,}754$ получаем, что абсолютное системное время $\Theta = 0$, это состояние назовем абсолютным нулем, ему соответствуют значения всех переменных состояния $z_k = 0$. Использование абсолютной величины Θ для измерений определено ее положительными значениями в отличие от величины θ. Шкала величины абсолютного системного времени Θ является шкалой отношений.

Весь спектр процессов развития 80 регионов России в 2005 – 2018 годах отражается в 1120 состояниях, которые можно рассматривать как причинно-следственные совместные события наблюдения значений параметров. Если для каждого такого события в пространстве состояний задать значение геометрической вероятности состояния, то можно получить уравнение состояния для рассматриваемого класса объектов, используя вероятностную модель пространства состояний.



1 Год	2 Население	3 Добыча	4 Производство	5 Энергетика	6 Сельс/хоз	7 Строит_во	8 Услуги	9 Торговля	10 wV	11 Teta	12 Var
2005	1512,0	40390,0	101734,0	14706,0	32691,0	14760,7	13641,0	45614,2		0,0	
2006	1514,0	41102,0	136649,0	17033,0	39068,0	18543,5	17409,0	62615,6		10,0	
2007	1519,0	56923,0	191798,0	16144,0	56290,0	32723,9	22575,0	84140,1		20,0	
2008	1525,0	62221,0	270781,0	17132,0	78701,0	43588,6	30666,0	113627,5		30,0	
2009	1530,0	35375,0	241638,0	18758,0	89522,0	29832,4	37793,0	125594,4		40,0	
2010	1532,0	73704,0	319536,0	22525,0	97736,0	41302,7	44437,0	143302,0		50,0	
2011	1536,0	110158,0	369161,0	25058,0	134620,0	70808,0	49776,0	166558,3		60,0	
2012	1541,0	94390,0	409330,0	25259,0	148430,9	80017,7	53115,0	199861,1		70,0	
2013	1544,0	96017,0	404467,0	28868,0	154166,2	71282,4	64115,0	223657,5		80,0	
2014	1548,0	84223,0	470245,0	27360,0	186770,7	63342,7	70453,0	253669,7		90,0	
2015	1550,0	81211,0	562897,0	28740,0	218384,9	76726,1	74393,0	275878,4		100,0	
2016	1553,0	89048,0	603881,0	28225,0	226058,1	70984,8	77677,0	298669,8		110,0	
2017	1550,0	116588,0	629093,0	27031,0	227268,9	80621,4	80858,0	315389,9		120,0	
2018	1548,0	148863,0	710829,0	26805,0	257038,0	92754,5	83389,0	336149,0		130,0	

Рис. 4. – Построение линейной шкалы системного времени для процессов развития регионов России

Установим взаимосвязь между абсолютным системным временем Θ и функцией относительных изменений (39), которая однозначно связана с геометрической вероятностью. Обработка всех данных для 80 регионов России за 14 лет позволила получить уравнение состояния регионов России вида:

$$\ln t = -25{,}550 + 6{,}434 \ln \Theta . \qquad (48)$$

Коэффициент корреляции зависимости (48) составил 0,91, результаты обработки данных приведены на рисунке 5, а.

Таким образом, получено уравнение состояний, характеризующее развитие регионов России, и связывающее абсолютное системное время с основными переменными состояния (свойствами объектов). При этом эмпирическое время τ выступает темпометрическим свойством при построении шкалы системного времени.

Хорошее качество уравнения состояния подтверждает гипотезу о вероятностной природе системного времени для изучаемого класса объектов.

Рассмотрим второй пример – процессы землепользования в странах мира в соответствии с данными международных организаций [20]. Создадим измерительную шкалу на основе переменных состояния, характеризующих данные процессы:

- площадь природных земель z_1;
- площадь мозаичных (управляемых) земель z_2;
- площадь обрабатываемых земель z_3;
- площадь маржинальных земель z_4.

Размерность всех перечисленных величин – км^2.

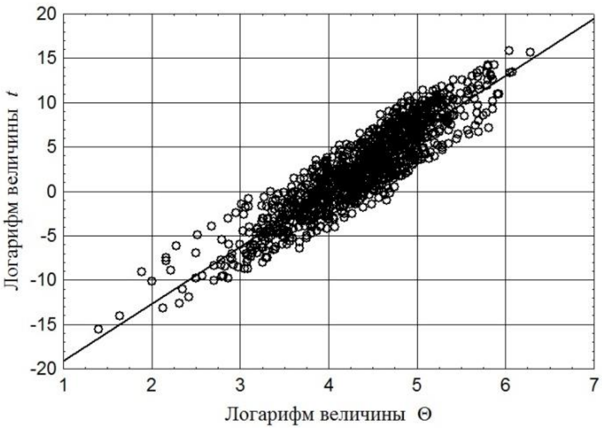
Выберем опорный объект и несколько реперных состояний этого объекта. В качестве первого реперного состояния (точка M_0) примем состояние Австрии в 1995 году, в качестве второго реперного состояния (точка M'_0) – ее состояние в 2015 году. Другие реперные точки шкалы будут определяться состояниями объекта для различных годов статистических наблюдений в период с 1995 по 2015 годы.

В данном случае при анализе данных за темпометрическое свойство принято эмпирическое время τ, на основе которого определялось системное время θ, измеряемое в градусах этой величины. Измерительная шкала формировалась путем установления линейной зависимости между величиной θ и переменными $z_1 \div z_4$. Значения θ на интервале времени 1995 – 2015 гг. зависели линейно от времени: 1995 г. – 0 $°\Gamma$, 2000 г. – 25 $°\Gamma$ и т.д. до 2015 г. – 100 $°\Gamma$. Таким образом шкала в интервале времени 1995 – 2015 гг. разбивалась на 100 равных делений. Изменение одного деления было принято за единицу измерения шкалы ($1\,°\Gamma$), каждому году соответствовало $5\,°\Gamma$ системного времени.

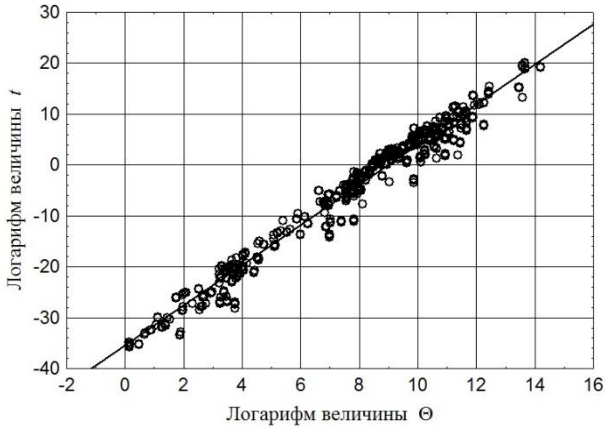
Обработка данных позволила установить практически функциональную зависимость для построения шкалы:

$$\theta = -7680{,}52 + \Theta\ ;$$

$$\Theta = 0{,}090\, z_1 - 0{,}002\, z_2 + 0{,}080\, z_3 + 0{,}470\, z_4\,. \quad (49)$$



а)



б)

Рис. 5. – Уравнения состояний для двух классов объектов:
а) регионы России относительно переменных состояния $z_1 \div z_7$ согласно (48);
б) страны мира по показателям землепользования $z_1 \div z_4$ согласно (50).

Также как и ранее, величину, получаемую путем прибавления константы $a_0 = 7680{,}52$ к значению системного времени θ, назовем абсолютным системным временем Θ. Зависимость (49) использована для измерения состояний стран мира по принятым показателям землепользования в шкале Θ, которая является положительной величиной.

Как и в предыдущем случае, установим взаимосвязь между системным временем и функцией вида (39). Обработка всех данных для 245 стран мира за 20 лет позволила получить следующее уравнение состояния:

$$\ln t = -35{,}391 + 3{,}944 \ln \Theta\,. \quad (50)$$

Коэффициент корреляции зависимости (50) составил 0,99, результаты обработки данных приведены на рисунке 5, б. В данном случае также подтверждена гипотеза о вероятностной природе системного времени.

Теперь рассмотрим примеры, когда при построении шкал системного времени в качестве темпометрического свойства используется статистическая вероятность характерных событий.

Для этого шкала системного времени θ строится с учетом соответствия этой величины, с одной стороны, параметрам свойств состояния объекта (переменным состояния), а с другой стороны, вероятности характерных событий, отражающих причинно-следственный порядок, который наблюдается при течении естественных процессов в определенном классе объектов. При этом причинно-следственный порядок событий должен быть связан с временным порядком этих же событий, для чего следует использовать при построении шкалы значения эмпирического времени.

В качестве характерных событий, отражающих временные закономерности для всего спектра процессов изменения состояний объектов, будем использовать совместное событие наблюдения значений параметров свойств в определено заданный момент времени по отношению к конкретному объекту. Такие события для определенного класса объектов являются однородными, комплексно отражают динамические изменения в состояниях объектов и обладают причинно-следственным порядком в массиве темпоральных данных.

Общая структура темпоральных данных имеет вид трехмерных массивов «объекты – значения параметров – время». Таким образом, для определенного момента наблюдения имеется таблица данных «объекты – значения параметров». Все такие таблицы данных привязаны к моментам времени – годам, месяцам, дням, часам и т.д.

Исходя из этого, в заданный момент времени наблюдения каждого конкретного параметра любого объекта можно рассматривать событие *А*, связанное с определением значения этого параметра, как характеристической величины данного события. Также в этот же момент времени реализуется совместное событие *В*, связанное с определением значений всех (нескольких) наблюдаемых параметров объекта в совокупности. Апостериорные вероятности указанных событий могут быть алгоритмически определены. С этой целью для совместных событий могут непосредственно оцениваться:

- статистическая вероятность наблюдения состояния объекта (точки M_i) в определенном объеме пространства состояний E^n при группировке опытных данных, исходя из заданного количества `диапазонов группирования;
- относительная частота наблюдения состояний всех объектов в определенном объеме пространства E^n, образованного состоянием каждого объекта (точка M_i, представленная в виде правой верхней вершины многомерного параллелепипеда) и т.д.

Вероятности совместных событий определялись в отдельности для каждой таблицы темпорального массива данных по одному общему алгоритму.

В данном исследовании за *вероятность состояния* объекта (некоторого состояния M) принималась вероятность указанного совместного события наблюдения значений нескольких переменных состояния. Такие события считаем характерными (индикативными).

Алгоритм определения статистической вероятности совместного события, связанного с наблюдаемыми свойствами для опытных точек M_i, предполагает следующую последовательность действий. При рассмотрении одного параметра z_1 на координатной оси Oz_1 область изменения параметра разбивается на ω равномерных интервалов и опытные данные группируются, исходя из попадания точек в каждый интервал. Статистическая вероятность оценивается по кумулятивной относительной частоте наблюдаемого события. С этой целью определяется число опытных точек, для которых выполняется неравенство $z_1 < z_{1\omega}$, где $z_{1\omega}$ – правая точка каждого ω-того интервала. Аналогично при рассмотрении двух параметров z_1 и z_2 на плоскости Oz_1z_2 определяется число опытных точек, для которых совместно выполняются неравенства $z_1 < z_{1\omega}$ и $z_2 < z_{2\omega}$. При рассмотрении трех параметров z_1, z_2 и z_3 в трехмерном пространстве $Oz_1z_2z_3$ определяется число точек, для которых совместно выполняются неравенства $z_1 < z_{1\omega}$, $z_2 < z_{2\omega}$ и $z_3 < z_{3\omega}$. Таким же образом определяется число опытных точек, попавших в области группирования, для *n*-мерного пространства параметров свойств. Если при разбиении для каждого параметра используется одинаковое количество интервалов, то для одного параметра имеем ω областей группирования, для двух – ω^2, для трех – ω^3 и т.д. Все это позволяет оценить статистические вероятности состояния по относительной частоте совместных событий.

Статистические вероятности для совместного события находятся в *n*-мерном пространстве согласно следующей зависимости:

$$w_\lambda = P\left(z_1 < z_{1\omega}, \ldots, z_n < z_{ng}\right) = \frac{I_\lambda}{N}, \quad (51)$$

где I_λ – число всех опытных точек, для которых совместно выполняется приведенное в формуле (51) неравенство $\left(z_1 < z_{1\omega}, \ldots, z_n < z_{ng}\right)$ и которые находятся в *n*-мерном параллелепипеде, представляющим собой некоторую λ-область группирования; *N* – общее число точек (опытных данных в выборке).

Алгоритм группирования точек использовался при достаточно большом количестве данных опыта. Например, для трех параметров состояния и 7 – 8 интервалов группирования надо иметь порядка 300 – 400 точек (объектов наблюдения). В случаях, когда объем данных меньше, использовался алгоритм оценки относительной частоты наблюдения состояний объектов в объеме пространства E^n, образованного состоянием каждого объекта. В этом случае подсчитывалось количество точек, удовлетворяющих условию $z_1 < z_{1i}$, $z_2 < z_{2i}$, $z_3 < z_{3i}$ и т.д., где i – номер оцениваемого состояния i-того объекта (точка M_i). Скрипты непосредственной оценки статистических вероятностей совместных событий приведены, например, в источниках [15, 22].

Теперь на покажем, как можно построить шкалу системного времени на основе учета вероятностей характерных событий.

Рассмотрим города России, используя при анализе существующие базы темпоральных данных. Для исследований была сформирована статистическая база данных социально-экономических показателей городов РФ с населением более 100 тыс. жителей [21]. Она включала информацию по каждому из 152 городов для более 50 показателей за 15 лет (с 2003 по 2017 гг.).

Выберем в качестве переменных состояния три удельных показателя развития, характеризующих сектор реальной экономики:

- объем товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами по виду экономической деятельности «Обрабатывающие производства» z_1;
- объем выполненных работ по виду деятельности «Строительство» z_2;
- оборот розничной торговли z_3.

Размерность перечисленных величин – млн. руб./тыс. чел. (тыс. руб./чел.).

Измерительную шкалу для сравнения состояний объектов на основе трех указанных переменных создадим на основе определения эмпирических распределений для каждой таблицы данных в период 2003 – 2017 годов. Для этого используем методику перевода вероятностей событий w в пробиты.

В основе данной методики лежит метод пробит-регрессии. Многочисленные опытные данные, полученные в описательных науках показывают, что эмпирические зависимости для распределений вероятностей выражаются кривыми, имеющими S-образную форму. Обычно для трансформации этих кривых в прямые линии на оси абсцисс откладывают логарифмы переменных, а по оси ординат – вероятностные единицы, так называемые пробиты. Обоснования для этой процедуры обработки данных пока нет, указанная методика – это междисциплинарный научный факт, когда используется универсальный метод построения распределений. Однако, опыт анализа данных позволил выработать практический подход при оценке эмпирических распределений. Построение вероятностных моделей проводится на основе пробит-регрессии в координатах *пробит-ln(z$_k$)*. Инверсное преобразование вероятностей в пробит-функции Pr выполняется с учетом функции нормального распределения:

$$w(\mathrm{Pr}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\mathrm{Pr}} \exp\left(-\frac{\xi^2}{2}\right) d\xi . \qquad (52)$$

Обычно пробит Pr связывают с переменными состояния зависимостями вида:

$$\mathrm{Pr} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln z_1 + \alpha_2 \ln z_2 + \ldots + \alpha_n \ln z_n , \quad (53)$$

где α_k – константы.

Таким образом, для каждой таблицы данных и каждого объекта были определены вероятности совместных событий, связанные с наблюдением значений трех указанных выше переменных состояния. Далее вероятности переводились в пробиты и строилась линейная измерительная шкала системного времени вида

$$\theta(\mathrm{Pr}) = \frac{100}{\mathrm{Pr}_2 - \mathrm{Pr}_1}\left(\mathrm{Pr} - \mathrm{Pr}_1\right) \qquad (54)$$

В качестве опорного объекта был принят город Воронеж. Первая реперная точка шкалы определялась состоянием этого города в 2003 году, вторая реперная точка – состоянием в 2013 году, для этих случаев $\mathrm{Pr}_1 = -1{,}1504$ и $\mathrm{Pr}_2 = -0{,}8046$. Системное время θ измеряется в градусах этой величины, при этом Pr рассматривается как темпометрический параметр, характеризующий процессы изменения свойств объектов на основе характеристических событий.

Таким образом, измерительная шкала формировалась путем установления линейной зависимости между системным временем θ и пробит-величиной Pr. При построении шкалы значения θ на интервале 2003 – 2017 гг. зависели линейно от времени: 2003 г. – $0\,{}^\circ\Gamma$, 2004 г. – $10\,{}^\circ\Gamma$ и т.д. до 2017 г. – $140\,{}^\circ\Gamma$. Изменение одного деления было принято за единицу измерения шкалы ($1\,{}^\circ\Gamma$), каждому году соответствовало $10\,{}^\circ\Gamma$.

Обработка данных для каждой таблицы в отдельности позволила получить уравнения состояния городов, которые приведены в таблице 1.

Как видно из уравнений состояния объектов $\theta = a_0 + a_1 \ln(t)$, приведенных в таблице 1, коэффициент a_0 линейно зависит от эмпирического времени τ, как это показано на рисунке 6.

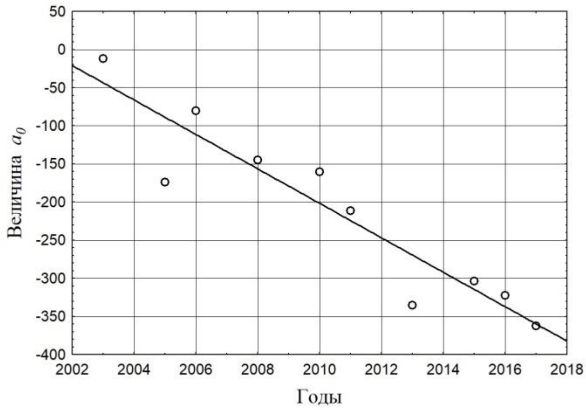


Рис. 6. – Зависимость величины a_0 от эмпирического времени.

Если прибавить коэффициент $a_0(\tau)$ к системному времени θ $(\Omega = \theta + a_0(\tau))$, то получим шкалу относительно логарифма величины t, при этом эмпирическое время может быть исключено из общего уравнения состояния объектов. Поэтому вместо нескольких уравнений (таблица 1) может быть предложено одно уравнение состояния для периода времени 2003 – 2017 гг.

Построим уравнение состояния для городов России, устанавливающие среднестатистическую зависимость между системным временем и мерой относительных изменений (39), которая однозначно связана с геометрической вероятностью состояния объекта в пространстве E^3. Обработка данных для 152 городов в период 2003 – 2017 гг. позволила получить уравнение состояния вида:

$$\Omega = 16{,}605 + 108{,}04 \ln t . \qquad (55)$$

Результаты обработки данных приведены на рисунке 7, коэффициент корреляции уравнения (55) составил 0,95.

Из уравнения (55) видно, что можно построить шкалу отношений $\Theta = \theta + a_0(\tau) - 16{,}606$ относительно $\ln(t)$, т.к. $\Theta = 0$ при $\ln(t) = 0$. Величину Θ определим как абсолютное системное время, оцененное по характерным событиям.

Таким образом, совместные события наблюдения значений параметров свойств отражают причинно-следственный и временной порядок в процессах развития изучаемого класса объектов.

Таблица 1. – Результаты обработки данных о развитии городов России

Год наблюдений	Уравнения состояния объектов	Коэффициент корреляции
2003	$\theta = -11{,}885 + 125{,}71\ln(t)$	0,96
2005	$\theta = -174{,}02 + 145{,}73\ln(t)$	0,97
2008	$\theta = -145{,}12 + 130{,}41\ln(t)$	0,95
2011	$\theta = -211{,}15 + 128{,}34\ln(t)$	0,96
2013	$\theta = -335{,}08 + 118{,}36\ln(t)$	0,95
2015	$\theta = -303{,}63 + 108{,}37\ln(t)$	0,95
2017	$\theta = -362{,}32 + 114{,}57\ln(t)$	0,96

В таблице 1 использованы следующие обозначения $t = \dfrac{z_1 z_2 z_3}{z_{10} z_{20} z_{30}}$ – величина относительных изменений; z_{k0} – значения переменных состояния опорного объекта в 2003 году.

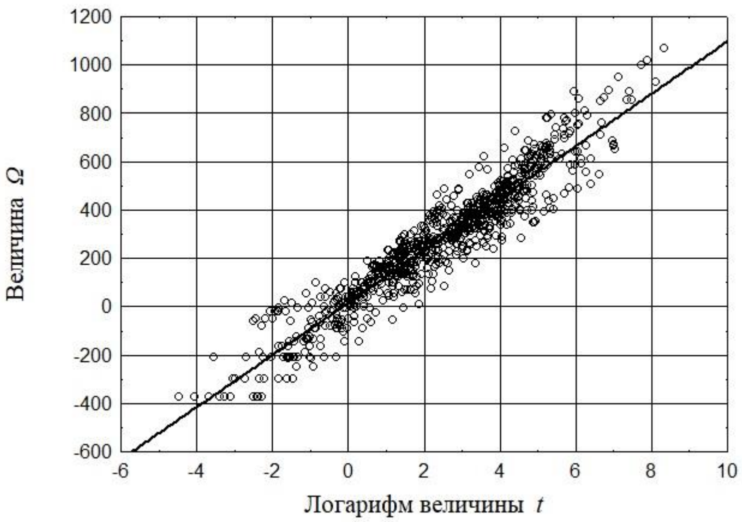


Рис. 7. – Уравнение состояния городов России в 2003 – 2017 гг.

Рассмотрим второй пример – процессы развития регионов России. В качестве переменных состояния выберем три наиболее влияющих удельных показателя развития:

- объем товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами по виду экономической деятельности «Обрабатывающие производства» z_1 и «Производство и распределение энергии, газа и воды» z_2;
- оборот розничной торговли z_3.

Размерность перечисленных величин – млн. руб./тыс. чел. (тыс. руб./чел.).

Измерительную шкалу для сравнения состояний объектов на основе трех указанных переменных создадим путем определения эмпирических распределений для каждой таблицы данных в период 2005 – 2018 годов. Обработку данных проведем аналогично предыдущему случаю.

В качестве опорного объекта примем Белгородскую область. Первая реперная точка шкалы определялась состоянием этого региона в 2005 году, вторая реперная точка – состоянием в 2015 году. Обработка данных для каждой таблицы в отдельности позволила получить уравнения состояния регионов, которые приведены в таблице 2.

Т.к. коэффициент a_0 линейно зависит от эмпирического времени τ, то исключим эмпирическое время из общего уравнения состояния объектов, используя величину $\Omega = \theta + a_0(t)$. Обработка данных для 80 регионов России в период 2005 – 2018 гг. позволила получить уравнение состояния вида:

$$\Omega = -145{,}89 - 721{,}94 \ln t . \qquad (56)$$

Результаты обработки данных приведены на рисунке 8, коэффициент корреляции уравнения (56) составил 0,95.

Таблица 2. – Результаты обработки данных о развитии регионов России

Год наблюдений	Уравнения состояния объектов	Коэффициент корреляции
2005	$\theta = -202{,}75 - 648{,}80 \ln(t)$	0,89
2007	$\theta = 608{,}53 - 778{,}15 \ln(t)$	0,90
2009	$\theta = 1030{,}29 - 716{,}50 \ln(t)$	0,90
2011	$\theta = 2033{,}88 - 797{,}32 \ln(t)$	0,91
2013	$\theta = 2528{,}41 - 786{,}29 \ln(t)$	0,92
2015	$\theta = 2757{,}97 - 717{,}91 \ln(t)$	0,91
2017	$\theta = 3063{,}43 - 800{,}89 \ln(t)$	0,94
2018	$\theta = 3121{,}52 - 771{,}69 \ln(t)$	0,90

В таблице 2 использованы следующие обозначения $t = \dfrac{z_1 z_2 z_3}{z_{10} z_{20} z_{30}}$ – величина относительных изменений; z_{k0} – значения переменных состояния опорного объекта в 2005 году.

На основе уравнения (56) можно построить шкалу отношений $\Theta = \theta + a_0(\tau) + 145{,}89$ относительно $\ln(t)$, т.к. $\Theta = 0$ при $\ln(t) = 0$, однако относительно переменных состояния такая шкала будет нелинейной.

Величину Θ тоже определим как абсолютное системное время, оцененное по характерным событиям.

Из двух последних примеров видно, что вероятности характерных событий могут быть использованы в качестве темпометрического свойства шкалы системного времени.

Используя предложенный подход, могут быть построены измерительные шкалы системного времени для случая, когда сравнение состояний объектов основывается на геометрических мерах схожести по отношению к началу отсчета, текущему состоянию опорного объекта, центру тяжести для всего массива опытных точек и т.д.. Это дает возможность построить аналогичные темпометрические системы измерений величин для геометрической среды моделирования времени.

Таким образом, на примере нескольких классов объектов показан общий процесс построения измерительных шкал системного времени и составления уравнений состояний, который отличается объективным подходом при реализации процедуры измерений.

Построение системы измерения количества воздействия

Для описания процессов изменения состояний объектов по отношению к некоторому классу объектов следует построить систему измерения количества воздействия. В общем виде представление о количестве воздействия было впервые предложено А. Гухманом для характеристики различных взаимодействий [23]. При этом данная величина характеризует особенности процесса изменения состояния объекта и уровень внешних воздействий на объект.

Любое измерение заключается в сравнении измеряемой величины с другой, однородной с ней величиной, принятой за единицу. Рассмотрим некоторый процесс l в пространстве состояний E^n. Можно предложить различные способы задания величины Q_l по отношению к кривой *l*. Например, будем использовать критерий сходства процессов в виде отношения величин q_l и δ_{l_0}: $Q_l = q_l / \delta_{l_0}$, где q_l – мера величины воздействия для произвольного процесса l; δ_{l_0} – единица измерения. Примем отношение Q_l в качестве количества воздействия и определим соответствующее значение в виде единицы измерения $\delta_{l_0} = \delta$, которая будет отнесена к эталонному процессу M_0M_0' в пространстве состояний. Назовем данную единицу измерения количества воздействия, например, *темпорией* (по аналогии с *калорией* в термодинамике), исходя из того, что любой процесс определяется, в первую очередь, его темпоральной длительностью. Данная единица измерения должна определяться каждый раз при изучении того или иного класса объектов и естественных процессов изменения состояний объектов как экземпляров класса.

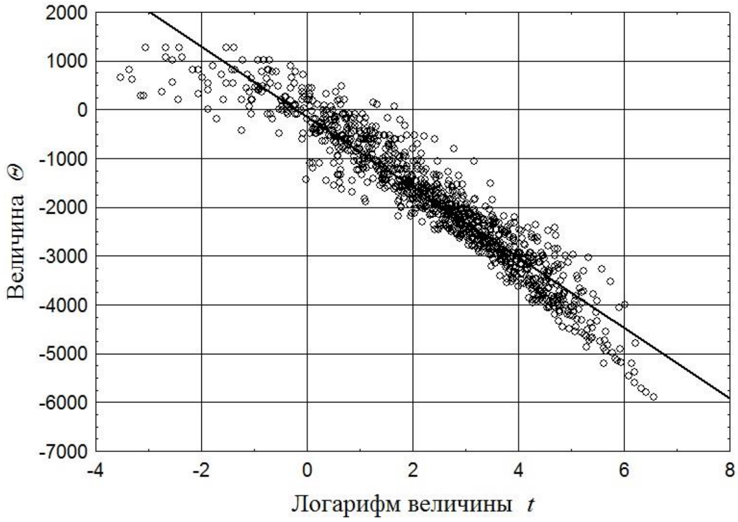


Рис. 8. – Уравнение состояния регионов России в 2005 – 2018 гг.

В случае, если построена шкала системного времени θ, то для каждого состояния *M* на кривой процесса *l* может быть задана функция $\theta = \theta_l(M)$. Поэтому, самый простой и наиболее правильный способ сравнения процессов между собой заключается в определении по опытным данным криволинейных интегралов по кривой процесса l вида: $Q_l = \dfrac{q_l}{\delta} = \dfrac{1}{\delta}\int\limits_l \theta_l(\varepsilon)d\varepsilon$, где ε – дифференциал дуги кривой *l*. Здесь δ равно значению аналогичного криволинейного интеграла, который будет соответствовать, например, изменению в один градус (или несколько градусов) системного времени для эталонного процесса M_0M_0' вблизи первой опорной точки M_0. Таким образом, в случае, когда системное время привязано к длине дуги кривой процесса *l*, то количество воздействия, как функцию линии, можно определить через криволинейный интеграл от величины θ по кривой процесса *l*. При этом величина θ будет отражать интенсивность процесса *l*, а длина кривой – продолжительность этого процесса.

Криволинейный интеграл $q_l = \int\limits_l \theta(\varepsilon)d\varepsilon$ может быть найден путем представления системного времени $\theta(\varepsilon)$ в зависимости от длины дуги кривой l или путем представления системного времени и дифференциала дуги кривой l через параметры свойств объекта. В последнем случае параметры свойств могут быть определены в параметрическом виде как функции эмпирического времени $z_k(\tau)$.

Полученные результаты позволяют на основе темпоральных данных установить связь между изменениями количества воздействия и системного времени в различных процессах. Для этого будем использовать темпоральность c_l, определяемую для каждого процесса на основании данных опыта. Эта величина имеет важное значение, т.к. привносит в теорию опытные факты и эмпирические закономерности характерные для реальных процессов.

На конкретном примере покажем процесс разработки системы измерения количества воздействия для некоторых классов объектов.

Рассмотрим процессы развития регионов России [19]. Будем использовать семь удельных переменных состояния, что и в предыдущем разделе. Эталонный процесс – развитие Белгородской области в 2005 – 2018 годах.

Определим значение количества воздействия в виде $Q_l = \frac{q_l}{\delta} = \frac{1}{\delta}\int_l \theta_l(\varepsilon)d\varepsilon$, при этом для любого процесса $q_l = \int_l \theta_l(\varepsilon)d\varepsilon$, а для эталонного процесса l_0: $\delta = \frac{1}{130}\int_{l_0} \theta_{l_0}(\varepsilon)d\varepsilon$.

Здесь δ равно значению криволинейного интеграла, который соответствует изменению в один градус системного времени для эталонного процесса M_0M_0' вблизи первой опорной точки M_0. На эталонный процесс развития Белгородской области в 2005 – 2018 годах приходится $130\,°\Gamma$ системного времени. На основе статистических данных получим, что $\delta = 335{,}49$. Определяя далее для всех 79 процессов развития регионов России в 2005 – 2018 годах величину q_l, найдем в каждом случае величину количества воздействия Q_l. Соответствующее уравнение, устанавливающее связь между изменением количества воздействия и изменениями системного времени для всего периода 2005 – 2018 годов имеет вид:

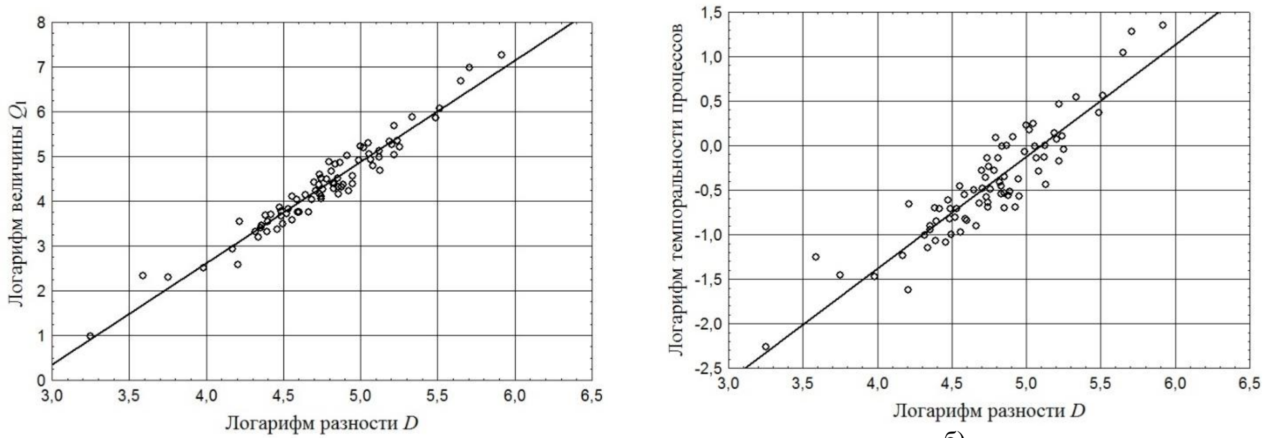
$$Q_l = c_l(\theta_{18} - \theta_{05}) \tag{57}$$

Коэффициент корреляции зависимости 0,97, результаты обработки данных приведены на рисунке 9, а.

Соответствующая зависимость для темпоральности процессов может быть представлена в виде:

$$c_l = 0{,}0016(\theta_{18} - \theta_{05})^{1{,}260} \tag{58}$$

Данная нелинейная зависимость показана на рисунке 9, б. Для каждого региона России были определены темпоральности процессов развития, значения которых приведены в таблице 3.



а) б)

Рис. 9. – Зависимости количества воздействия и темпоральности процессов развития регионов России от изменений системного времени: а) количество воздействия согласно (57); б) темпоральность процессов согласно (58); $D = \theta_{18} - \theta_{05}$

Рассмотрим теперь процессы землепользования в странах мира на основе темпоральных данных [20]. Будем использовать те же четыре переменные состояния, что и в предыдущем разделе. Эталонный процесс – развитие землепользования в Австрии в 1995 – 2015 годах.

Определим, как и ранее, значение количества воздействия для всех 245 стран. На основе статистических данных получим, что $\delta = 108569{,}19$. Определяя далее для всех процессов развития стран мира в 1995 – 2015 годах величину q_l, найдем в каждом случае величину количества воздействия Q_l. Соответствующее уравнение, устанавливающее связь между изменением количества воздействия и изменениями системного времени для периода 1995 – 2015 годов имеет вид:

$$Q_l = c_l(\theta_{15} - \theta_{95}) \tag{59}$$

Коэффициент корреляции зависимости 0,94, результаты обработки данных приведены на рисунке 10, а. Соответствующая зависимость для темпоральности процессов имеет вид:

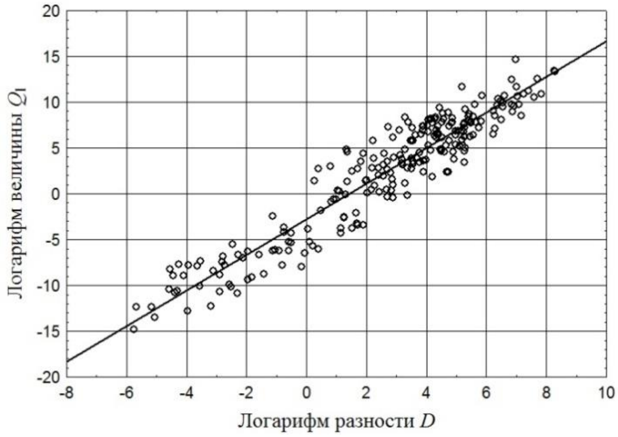
$$c_l = 0{,}0564(\theta_{15} - \theta_{95})^{0{,}956} \tag{60}$$

Данная зависимость приведена на рисунке 10, б.

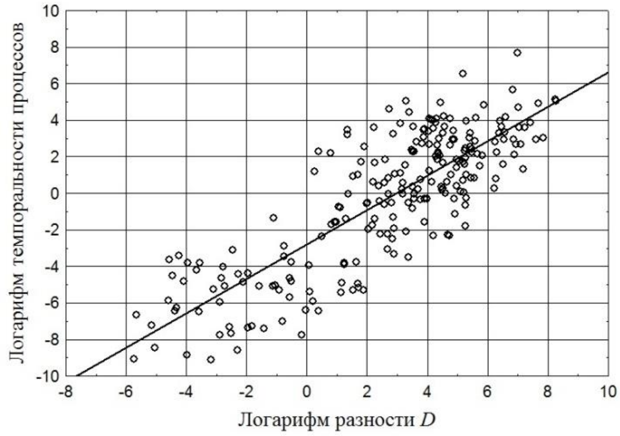
Аналогичным образом может быть найдено количество воздействия в случае, если при определении системного времени в качестве темпометрического свойства используется вероятность характерных событий или различные геометрические меры схожести состояний.

Приведенные примеры, связанные с нахождением количества воздействия, указывают на то, что для различных классов объектов на основе определения системного времени могут быть построены системы измерения интенсивности и продолжительности естественных процессов.

Отметим, что метод темпорологии по отношению к различным классам объектов является в определенной степени логическим развитием метода термодинамики, который обладает значительными феноменологическими возможностями обработки и анализа эмпирических данных.



а)



б)

Основное дифференциальное уравнение темпорологии

Определение системного времени в зависимости от переменных состояния позволяет предложить уравнения для описания поля времени. При этом основная задача темпорологии для систем различной природы связана с построением модели континуального пространства состояний по имеющимся дискретным темпоральным данным.

Известно из математической физики, что континуальному пространству состояний можно приписать феноменологические свойства.

Таблица 3

Значения темпоральности c_l процессов развития регионов России в 2005 – 2018 гг.

№	Регион	Величина c_l
1	Белгородская область	1,001
2	Воронежская область	0,573
3	Курская область	0,609
4	Липецкая область	1,278
5	Московская область	0,842
6	Смоленская область	0,562
7	г.Москва	1,448
8	Архангельская область	0,879
9	Калининградская область	1,194
10	Псковская область	0,492
11	г.Санкт-Петербург	1,113
12	Республика Адыгея	0,433
13	Республика Калмыкия	0,267
14	Ростовская область	0,579
15	Республика Дагестан	0,343
16	Республика Ингушетия	0,104
17	Карачаево-Черкесская	0,286
18	Ставропольский край	0,446
19	Республика Башкортостан	0,686
20	Республика Марий Эл	0,498
21	Республика Мордовия	0,516
22	Республика Татарстан	1,071
23	Пермский край	0,990
24	Нижегородская область	0,869
25	Самарская область	0,872
26	Саратовская область	0,439
27	Ульяновская область	0,493
28	Свердловская область	0,958
29	Тюменская область	3,601
30	Республика Тыва	0,233
31	Республика Хакасия	0,500
32	Алтайский край	0,405
33	Забайкальский край	0,368
34	Красноярский край	1,000
35	Иркутская область	0,753
36	Кемеровская область	1,097
37	Новосибирская область	0,577
38	Томская область	0,635
39	Республика Саха (Якутия)	1,718
40	Камчатский край	0,985
41	Приморский край	0,495
42	Магаданская область	1,752
43	Сахалинская область	3,865
44	Чукотский автономный округ	2,836

Для этого можно использовать дифференциальные уравнения. С этой целью примем гипотезу об однородности поля системного времени. Это обосновывается линейностью используемых шкал величины θ, из которой следует уравнение:

$$z_1 \frac{\partial \theta}{\partial z_1} + z_2 \frac{\partial \theta}{\partial z_2} + \ldots + z_n \frac{\partial \theta}{\partial z_n} = \theta . \quad (61)$$

Так как эту величину и параметры свойств можно представить как функции эмпирического времени, то продифференцировав по τ данное уравнение, получим параболическое дифференциальное уравнение вида:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial z_1}\left(z_1 \frac{\partial \theta}{\partial z_1}\right) z_1'(\tau) + \frac{\partial}{\partial z_2}\left(z_2 \frac{\partial \theta}{\partial z_2}\right) z_2'(\tau) + \ldots$$
$$+ \frac{\partial}{\partial z_n}\left(z_n \frac{\partial \theta}{\partial z_n}\right) z_n'(\tau) \quad (62)$$

или

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \alpha_1 \frac{\partial}{\partial z_1}\left(z_1 \frac{\partial \theta}{\partial z_1}\right) + \alpha_2 \frac{\partial}{\partial z_2}\left(z_2 \frac{\partial \theta}{\partial z_2}\right) + \ldots,$$
$$+ \alpha_n \frac{\partial}{\partial z_n}\left(z_n \frac{\partial \theta}{\partial z_n}\right), \quad (63)$$

где α_k – функции эмпирического времени.

Таким образом, приходим к нестационарному уравнению диффузии, которое задается для многомерной полуограниченной области или части этой области, при этом феноменологические величины α_k следует определять по имеющимся опытным данным, исходя из решения обратных краевых задач. Приведенное уравнение при определенных краевых условиях математически характеризует свойства темпорального пространства состояний для различных классов объектов.

Исходя из полученных результатов видно, что при изучении полевой структуры времени можно использовать инструментарий математической физики.

Выводы

Если подвести итог статьи, то можно отметить следующее.

Сегодня самый важный вопрос дискуссии в темпорологии связан с проблемой: какая величина или система величин наиболее полно отображает наблюдаемые изменения объектов во времени и может выступать адекватной и универсальной оценкой времени? Выше речь велась об эмпирическом и системном времени, а также об энтропии и потенциале пространства состояний, которые также могут давать оценки времени. Естественно, что такой сложный феномен, как время, количественно может характеризоваться множеством величин и параметров. Для внешней системы измерений величиной для оценки времени выступает эмпирическое время τ, которое стандартизировано и имеет свою шкалу измерений. Для внутренней системы измерений, привязанной к пространству состояний объектов, основной характеристикой является системное время θ. Кроме этого универсальными характеристиками времени могут выступать энтропия и потенциал, которые являются функциями состояния в термодинамическом представлении и зависят от параметров свойств. Энтропия и потенциал связаны с системным временем. В этой области открываются возможности для проведения актуальных научных исследований с привлечением логических, теоретических и прикладных методов термодинамики, при этом естественно адаптированных под новую предметную область.

Из приведенных результатов также видны возможности, которые позволят сформировать обширную экспериментальную базу темпорологии по отношению к системам различной природы, т.к. основная проблема экспериментальной темпорологии – это получение, накопление, обработка и анализ опытных данных и фактов о времени.

Учитывая громадное множество изучаемых на практике классов систем, видов моделей (геометрических, вероятностных, эмпирических и т.д.) и количеств используемых переменных при моделировании, сразу видна трудоемкость задачи формирования экспериментальной базы темпорологии.

И последнее, может быть наиболее важное, сформулированный темпорологический подход анализа характерных событий естественных процессов для различных классов объектов позволяет предложить вероятностно-статистические модели времени и от причинно-следственного порядка событий и их вероятностей перейти феноменологическим моделям. Вероятностно-статистические модели времени – это явная альтернатива геометрическим моделям пространства-времени СТО.

Список литературы

1. Институт исследования природы времени. – Электр. ресурс: http://www.chronos.msu.ru/ru/rindex (25.11.2019).
2. The International Society for the Study of Time. – Электр. ресурс: http://www.studyoftime.org (25.11.2019).
3. KronoScope // Journal for the Study of Time. – Электр. ресурс: http://www.brill.nl/kron (25.11.2019).

4. Венгеров И.Р. Хроноартефакты термодинамики. – Донецк: Норд-пресс, 2005. – 235 с.
5. Владимиров Ю.С. Природа пространства и времени: Антология идей. – М.:ЛЕНАНД, 2015. – 400 с.
6. Эйнштейн А. О специальной и общей теории относительности. – Пг.: Научное книгоиздательство, 1923. – 123 с.
7. Эйнштейн А. Сущность теории относительности. – М.: Иностранная литература, 1955. – 160 с.
8. Аксенов Г.П. К истории понятий дления и относительности. – Электр. ресурс: www.chronos.msu.ru/old/RREPORTS/ aksyonov_spor_o_prirode.html (25.11.19).
9. Бергсон А. Длительность и одновременность (по поводу теории Эйнштейна). – Пг.: Академия, 1923. – 154 с.
10. Тейлор Э.Ф., Уиллер Дж. А. Физика пространства-времени. – М.: Мир, 1971. – 320 с.
11. Терлецкий Я.П. Парадоксы теории относительности. – М.: Наука, 1966. – 120 с.
12. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Том 1. Работы по теории относительности 1905 – 1920 гг. – М.: Наука, 1965. – 700 с.
13. Отрицание теории относительности. – Электр. ресурс: http://tradition.wiki (25.11.19).
14. Николенко А.Д. Введение в экспериментальную и практическую темпорологию // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика, № 4, 2012. – С. 18 – 46.
15. Аверин Г.В. Системодинамика. – Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с.
16. Аверин Г.В. О некоторых феноменологических закономерностях биологической жизни // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, 2016. № 1(10)–2(11). – С. 11–31, – Электр. ресурс: http:// sait.csm.donntu.org/
17. Аверин Г.В. О принципе существования и законе возрастания энтропии в свете общесистемных представлений системодинамики // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, 2015, № 1(8) – 2(9). – С. 11–31, – Электр. ресурс: http:// sait.csm.donntu.org/
18. Аверин Г.В. Реляционно-полевая модель времени // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, № 1(4)–2(5). 2013. – С. 11 – 25. – Электр. ресурс: http:// sait.csm.donntu.org/
19. База данных Федеральной службы государственной статистики. Регионы России. Социально-экономические показатели. – Электр. ресурс: https://www.gks.ru/free_doc/new_site/region_stat/sep_region.html (25.11.19)
20. Protected Planet: The World Database on Protected Areas (WDPA) – Электр. ресурс: www.protectedplanet.net (25.11.19)
21. База данных Федеральной службы государственной статистики. Основные социально-экономические показатели городов. – Электр. ресурс URL: https:// www.gks.ru/free_doc/new_site/region_stat/sep_region.html (15.11.19).
22. Звягинцева А.В. Вероятностные методы комплексной оценки природно-антропогенных систем / Под науч. ред. д.т.н., проф. Г.В. Аверина. – М.: Спектр, 2016. – 257 с.
23. Гухман А.А. Об основаниях термодинамики. – М.: Энергоатомиздат, 1986.– 383 с.