Раздел I. Проблема самоорганизации и научное познание

УДК 681.51

А.А. Колесников

ОТ СИСТЕМНОГО СИНТЕЗА – К НАЧАЛАМ СИСТЕМНОЙ ФИЗИКИ

Рассматривается важная фундаментальная проблема формирования основ новой науки – системной физики – на базе идеологии синергетической теории управления (СТУ). Суть указанной проблемы состоит в формировании новых порождающих принципов, на основе которых, во-первых, можно выявить глубокую асимптотическую связь между ключевыми законами механики, а именно между законом Аристотеля и законами классической механики Галилея–Ньютона; во-вторых, показать, что эта связь фактически лежит в основе известных «законов сохранения» гамильтоновой механики; и, в-третьих, осуществить поиск новых естественных закономерностей, отражающих реальные процессы нелинейного взаимодействия в системах разной природы, в частности, синтезировать новый «системный закон» гравитационного взаимодействия двух тел, и др. В основу решения указанной фундаментальной проблемы в докладе предложено положить гипотезу о «скрытых переменных» и принцип асимптотической редукции в процессах движения реальных систем.

Гипотеза о «скрытых переменных»; асимптотическая связь; закон Аристотеля; законы классической механики; синергетическая теория управления; инвариант; самоорганизация, система.

A.A. Kolesnikov

FROM SYSTEM SYNTHESIS TO THE FOUNDATION OF SYSTEM PHYSICS

In the paper we explore the important fundamental problem of basic foundation of new science – the systematic physics, based on the ideology of synergetics control theory (SCT). The essence of appointed problem is in foundation of new generating principles. Basing on these principles, we can: firstly, outline the strong asymptotical link between key laws of the mechanics, namely between Aristotle's Law and classical mechanics laws of Galilei-Newton; secondly, show that this link is really the background of known principles of conservation in Hamilton's mechanics; thirdly, provide the search of new natural regularities reflecting natural processes of nonlinear interaction in the systems of various natures, including synthesis of new systematic law of two bodies gravity interaction, etc. As a base of this problem solution, we propose to use the hypotheses of "hidden variables" and the principle of asymptotic reduction in the processes of natural system motion.

Hypotheses of "hidden variables"; asymptotic link; Aristotle's Law; laws of classical mechanics; synergetics control theory; invariant; self-organization; system.

1. О гипотезе случайности И. Пригожина. Основной гипотезой, с помощью которой ученые пытаются объяснить суть эволюционных процессов, является *гипотеза случайности* [1]. Этому, в первую очередь, соответствует второй закон термодинамики о росте энтропии в изолированных системах любой природы. Указанная точка зрения после Больцмана нашла наиболее яркое отражение в известных работах И. Пригожина, который, в частности, пишет: «От каких предпосылок классической науки удалось избавиться современной науке? Как правило, от тех, которые были сосредоточены вокруг основополагающего тезиса, согласно которому на определенном уровне *мир устроен просто* и подчиняется обратимым во времени фундаментальным законам. Подобная точка зрения представляется нам сегодня чрезмерным упрощением... Предпринятый классической наукой поиск истины сам по себе может служить великолепным примером той раздвоенности, которая отчетливо прослеживается на протяжении всей истории западноевропейской мысли. Традиционно лишь неизменный мир идей считался, если воспользоваться выражением Платона, «освещенным солнцем умопостигаемого»... В том же смысле научную рациональность было принято усматривать лишь в вечных и неизменных законах. Все же *временное и преходящее рассматривалось как иллюзия*. Ныне подобные взгляды считаются ошибочными. Мы обнаружили, что в природе существенную роль играет далеко не иллюзорная, а вполне реальная необратимость, лежащая в основе большинства процессов самоорганизации. Как можно преодолеть явное противоречие между детерминированным и случайным? Ведь мы живем в едином мире, мы лишь теперь начинаем по достоинству оценивать значение всего круга проблем, связанных с необходимостью и случайностью. Кроме того, мы придаем совершенно иное, а иногда и прямо противоположное, чем классическая физика, значение различным наблюдаемым и описываемым нами явлениям. Мы уже упоминали о том, что по существовавшей ранее традиции фундаментальные процессы было принято считать детерминированными и обратимыми, а процессы, так или иначе связанные со случайностью или необратимостью, трактовать как исключения из общего правила. Ныне мы повсюду видим, сколь важную роль играют необратимые процессы, флуктуации. Модели, рассмотрением которых занималась классическая физика, соответствуют, как мы сейчас понимаем, лишь предельным ситуациям. Их можно создать искусственно, поместив систему в ящик и подождав, пока она не придет в состояние равновесия.

Искусственное может быть детерминированным и обратимым. Естественное же непременно содержит элементы случайности и необратимости. Это замечание приводит нас к новому взгляду на роль материи во Вселенной. Материя – более не пассивная субстанция, описываемая в рамках механистической картины мира, ей также свойственна *спонтанная активность*. Отличие нового взгляда на мир от традиционного столь глубоко, что … мы можем с полным основанием говорить о новом диалоге человека с природой» [2].

2. Гипотеза о «скрытых переменных». Многие ученые критикуют подход И. Пригожина, говоря, что если в основе эволюционных процессов лежит случайность, то это означает полное исключение детерминизма в познании природы. Отсюда они даже делают вывод о непознаваемости природы, что противоречит всей истории развития науки. В этой связи кратко рассмотрим указанную фундаментальную проблему науки о процессах эволюции с точки зрения синергетической теории управления (СТУ). Дело в том, что любой процесс в динамическом смысле может быть представлен *двумя основными этапами*: это, во-первых, *этап становления*, т.е. эволюции, или, говоря языком кибернетики, этап переходных процессов, и, во-вторых, *этап стационарного движения* на соответствующем аттракторе. Как говорил Н.Н. Моисеев, «развитие любой динамической системы происходит в окрестности некоторого аттрактора». Согласно ключевым положениям СТУ [3–5], на этапе эволюции динамической системы ее размерность *всегда выше* размерности на этапе стационарного, установившегося движения. Отсюда вытекает следующая *гипотеза размерности*: «*эволюционные процессы должны описываться уравнениями движения более высокой размерности по сравнению с размерностью аттрактора, на который попадает система после завершения эволюционного* *процесса*». Это означает, что законы, описывающие поведение динамических систем любой природы, должны состоять, по меньшей мере, из двух частей: это более *высокоразмерная часть процессов эволюции* и часть меньшей размерности, которая описывает поведение системы на аттракторе. Очевидно, такое разбиение на две основные части достаточно условно, так как каждая из указанных частей, в свою очередь, может быть разбита на свои подчасти и т.д., согласно *принципу самоподобия синергетики*. Но самое главное здесь состоит в *эффекте редукции степеней свободы* системы по мере ее движения к аттрактору, на котором размерность системы становится *наименьшей*. Описанный процесс эволюции сложных систем, в результате которого происходит их динамическая редукция, в полной мере согласуется с принципом «расширения – сжатия фазового пространства» (рис. 1) и, в более широком смысле, с принципом иерархизации, положенным в основу СТУ и метода аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР) [3, 4].

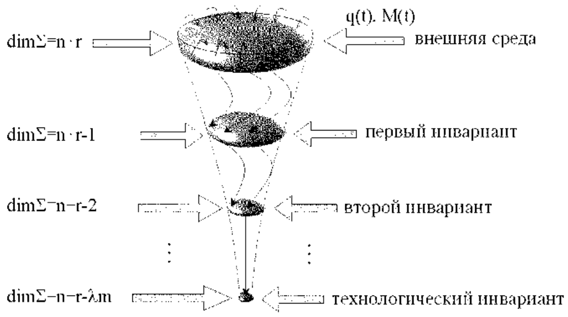

Рис. 1. Принцип «расширения – сжатия» пространства состояний систем

В целом это означает, что в любой сложной эволюционирующей системе имеются «исчезающие» на аттракторах «*скрытые переменные*», дискуссия о которых ведется в науке еще со времен Ньютона, Эйлера и Лагранжа. В течение столетий ученые, следуя принципу редукционизма, всегда стремились упростить суть рассматриваемых явлений. Поэтому ими и выдвигались разные постулаты и даже запреты: от знаменитой «бритвы Оккамы: не размножай сущностей», постулата Ньютона «природа проста и не роскошествует излишними причинами» и «освободите вопрос от всего лишнего и сведите его к простейшим элементам» Декарта до «проклятия размерности» Р. Беллмана. Однако эти постулаты, доведенные, на наш взгляд, до крайности, стали скрытыми мировоззренческими препятствиями на пути развития науки. Поэтому нами и был выдвинут обратный принцип «*о благоденствии высокой размерности управляемых систем*».

Изложенная здесь идея о ключевой роли «скрытых переменных» в эволюции любой системы нашла свое непосредственное отражение в принципе «расширения – сжатия фазового пространства», положенном в основу СТУ и метода АКАР. Условно эту идею можно представить в виде «матрешки» иерархически вкладываемых друг в друга инвариантов (рис. 1). При этом законы взаимодействия верхних уровней иерархической системы должны быть динамически согласованы с законами нижних уровней. Отсюда следует, что макропеременные верхних уровней последовательно формируются из макропеременных, определяющих поведение системы на нижних уровнях ее иерархии. Иначе говоря, микроописание системы «*вложено*» в ее макроописание, отражающее ее коллективные свойства в целом. Самый же нижний уровень такой иерархической системы (рис. 1) является «*целевым аттрактором*», к которому неизбежно устремляются все ее траектории движения.

Интересно, что подобная модель построения физических систем используется в работах [6–8] и др., посвященных поиску решения знаменитой проблемы необратимости, т.е. поиску естественной связи между классической механикой и термодинамикой. Это, как известно, давняя труднейшая проблема науки, до сих пор не получившая своего разрешения.

Итак, в отличие от стохастического подхода к эволюционным процессам в сложных динамических системах, можно выдвинуть *гипотезу* о «*скрытых (латентных) переменных*», постепенно исчезающих по мере эволюции системы к ее аттрактору. Такой подход позволил построить СТУ – новую, синергетическую теорию системного синтеза, которая позволила принципиально по-новому решить проблему синтеза нового класса искусственных технических систем. Особенности синергетического подхода ярко проявились при решении проблемы синтеза нового класса генераторов нелинейных колебаний [9]. Наиболее же интересным и перспективным, на наш взгляд, является применение идеи о «*скрытых переменных*» для синтеза новых естественных закономерностей. Эта идея была использована при синтезе нового, *системного закона тяготения* [10, 11], что позволило, в отличие от закона Ньютона, выявить скрытые особенности гравитационного взаимодействия двух тел. Это также позволило, в частности, по-новому решить известную прикладную задачу управления орбитальным движением космических летательных аппаратов с «малой тягой» и др. Разумеется, что новый, системный закон тяготения, построенный на основе идеи о «скрытых переменных» и охватывающий закон тяготения Ньютона как некоторое внутреннее ядро, имеет, на наш взгляд, также и немалое мировоззренческое значение как с точки зрения достаточно естественного объяснения известных и ранее труднообъяснимых астрофизических явлений, так и, что наиболее важно, с точки зрения создания *первичных основ* «*системной физики*». Очевидно, что на пути формирования этих основ еще лежат немалые трудности, в первую очередь, мировоззренческого характера, о чем ярко свидетельствует вся история развития науки.

3. От механик Аристотеля и Галилея–Ньютона к системной физике. С целью выявления базовых первоисточников и предпосылок возникновения «системной физики» представляется вполне естественным обратиться к тем *первичным принципам*, которые сыграли определяющую роль в развитии соответствующей науки. Как говорил Анри Пуанкаре, «Зоологи утверждают, что эмбриональное развитие животного резюмирует вкратце историю его предков в разные геологические периоды. Воспитатель должен заставить ребенка пройти через те ступени, которые были пройдены его предками, пройти быстрее, но без пропуска промежуточных этапов. В этом смысле история науки должна быть нашим первым руководителем. Лучший метод для предвидения будущего развития математических наук заключается в изучении истории и нынешнего состояния этих наук». Наиболее ярко такого рода путь развития, как известно, можно проследить по истории формирования фундаментальных принципов и основ классической механики – от механик Аристотеля и Галилея–Ньютона до механики Лагранжа и Гамильтона. Этому посвящена колоссальная отечественная и зарубежная научная и философская литература. Известный российский ученый С.Н. Вавилов говорил: «Мне очень по душе нарушение основного закона Ньютона – закона инерции покоя, превращение его в инерцию движения».

Поэтому мы здесь кратко сначала остановимся на старой мировоззренческой проблеме о связи между теорией *принудительного движения* Аристотеля и механикой Галилея–Ньютона. Этой проблеме в течение последних 300 лет были посвящены работы многих выдающихся ученых и философов, о чем необычайно интересно и содержательно пишут авторы замечательной книги [12]. Как известно из истории развития механики и вообще науки, революционный переход от взглядов Аристотеля, долгое время господствовавших в умах естествоиспытателей, к механике Галилея–Ньютона привел к кардинальному изменению научных концепций. Однако, как это будет показано ниже, указанный скачок в научном мировоззрении представляется радикальным только на первый взгляд. В действительности между механиками Аристотеля и Галилея–Ньютона имеется глубокая и скрытая внутренняя связь, суть которой проявляется в их *асимптотическом соответствии*.

Сначала остановимся на точке зрения авторов книги [12]. Согласно Аристотелю, закон движения тела под действием внешней силы имеет вид

$$mv = F, \tag{1}$$

т.е. скорость движения v пропорциональна действующей на тело постоянной силе F. Такое утверждение принципиально противоречит закону Ньютона

$$m\ddot{x}(t) = m\dot{v}(t) = F, \tag{2}$$

что, как известно, вызвало многовековую мировоззренческую дискуссию ученых и философов и более того, как пишут авторы книги [12], «что, не зная выводов современной теории или недостаточно глубоко усвоив их, люди и сегодня приходят к объяснениям, типичным для Аристотеля и его последователей. Сюда относятся представления о силе как причине движения, об остановке движущегося тела вследствие исчерпания сообщенной ему движущей силы, о вертикальном падении тела, брошенного с горизонтально движущегося объекта, наконец, о различном времени падения тел разного веса. В исследованиях психологов отмечается удивительное сходство взглядов античных и средневековых философов и многих наших современников, взглядов, представляющих собой *естественный итог наблюдений в земных условиях*». Как писал М. Клайн, «Уже самый первый принцип физики Галилея (принцип инерции) противоречит аналогичному принципу физики Аристотеля. Означает ли это, что Аристотель допустил грубые ошибки или что его наблюдения были слишком примитивны и малочисленны, чтобы привести к открытию правильного принципа? Отнюдь, Аристотель был реалистом и учил тому, что подсказывали наблюдения. Метод Галилея был более утонченным и поэтому более успешным. Галилей идеализировал явление, игнорируя одни факты и подчеркивая другие. Пренебрегая трением и сопротивлением воздуха и предполагая, что движение происходит в абсолютно пустом эвклидовом пространстве, Галилей открыл фундаментальный принцип» [13]. Галилей сделал фундаментальное открытие, согласно которому постоянно действующая сила увеличивает или уменьшает скорость движения тела, т.е. оно движется с ускорением. На основе этого открытия Галилея Ньютон и построил свой знаменитый второй закон (2).

Если предположить, что, помимо силы F, на тело действует также сила трения, то тогда по Ньютону закон движения тела будет иметь вид [12]

$$m\dot{v}(t) = F_0 - \alpha v, \tag{3}$$

где α – коэффициент трения. При постоянной силе F_0 решение уравнения будет следующим:

$$v(t) = \frac{F_0}{\alpha}\left(1 - e^{-\frac{\alpha t}{m}}\right) + v_0 e^{-\frac{\alpha t}{m}}, \tag{4}$$

где v_0 – начальная скорость. Очевидно, что через некоторое время функция $e^{-\frac{\alpha t}{m}}$ станет пренебрежимо малой и, в результате, мы приходим к закону Аристотеля (1).

При большом трении переходный процесс заканчивается очень быстро по сравнению с достаточно длительным временем наблюдения за движением тела. При малом же трении наблюдения за реальным движением тел сразу же выявили бы заметное отклонение от постоянной скорости и только затем медленное приближение к ней на достаточно большом интервале времени. Однако, как пишут авторы книги [12], «таких наблюдений не было в сфере повседневного опыта древних греков. Лишь идеализированный мысленный эксперимент привел Галилея к представлению о *движении по инерции* – одному из основных представлений физики Нового времени». И далее они пишут: «С физической точки зрения, приближение Аристотеля сохраняет значение как асимптотика движения при достаточно больших временах: чем значительнее трение, тем раньше это приближение становится применимым. С математической же точки зрения, мы сталкиваемся здесь с *сингулярным возмущением*, т.е. такой ситуацией, когда предельное уравнение имеет меньший порядок, чем исходное. Чтобы удовлетворить начальным условиям, нужно использовать дополнительное уравнение

$$m\dot{v}(t)+\alpha v=0. \tag{5}$$

Интересно, что это – «теория импетуса» Ж. Буридана и Н. Орема. Как мы убедились, механика Аристотеля соответствует большим временам. Существует дополнительная асимптотика, которую легко обнаружить, анализируя поведение точного решения при малом показателе экспоненты

$$v\approx\frac{F}{m}t.$$

Она описывает равноускоренное движение тела под действием силы тяжести в среде без сопротивления. Это решение справедливо при любом трении для достаточно малых времен. Чем меньше коэффициент трения, тем шире область его применимости, и тем позднее мы выходим на асимптотику Аристотеля. Соответствующее малым временам уравнение движения

$$m\ddot{x}(t)=m\dot{v}(t)=F \tag{6}$$

представляет собой математическую запись второго закона Ньютона.

Здесь мы попадаем в область механики *консервативных* или *гамильтоновых* систем (для которых справедлив закон сохранения механической энергии), которая допускает и виды движения, абсолютно чуждые механике Аристотеля – колебания, периодические вращения. Теория консервативных систем – важнейшая асимптотика в механике Ньютона, поскольку описываемые ею режимы движения (в частности, периодические и почти периодические) во многих физических системах оказываются очень хорошим приближением к реальности. Но и приближение Аристотеля имеет свою область применимости, когда трение становится достаточно большим. Например, это наблюдается при движении молекул полимеров в растворах. Такие системы называют *сверхдемпфированными*, а динамические процессы в них – *релаксационными*, т е. стремящимися к равновесию».

Итак, авторы книги [12], *постулировав уравнение* (3), из которого, как частный случай, следует так называемая «теория импетуса» (5), тем самым фактически построили основное уравнение движения в механике Аристотеля. Изложенные выше соображения авторов [12] несомненно верны, однако, на первый взгляд, они могут даже показаться в некоторой мере недостаточно ясными. И здесь, по-видимому, уместно привести следующие философские рассуждения по поводу механик Аристотеля и Галилея–Ньютона: «Когда сейчас скептические философы науки говорят о “несоизмеримости” теорий, об их “жизни в разных мирах”, они имеют в виду подобные случаи. Теории Буридана–Орема и Аристотеля “несоизмеримы”, но “составное разложение” (механика Галилея–Ньютона) преодолевает эту “несоизмеримость”, или “дополнительность”. Асимптотология побивает антисциентический скептицизм (“методологический анархизм”)» [14].

Дадим теперь общую синергетическую интерпретацию проблемы *асимптотического соответствия* между механиками Аристотеля и Галилея–Ньютона с точки зрения идеологии СТУ и метода АКАР. Для этого сначала запишем закон Ньютона (6) в виде

$$\dot{x}(t) = v; \quad m\dot{v}(t) = F . \tag{7}$$

Следуя Аристотелю, будем считать F как некоторое принудительное воздействие или, говоря языком кибернетики, как управление. Теперь предположим, что требуется найти такую силу F, которая обеспечит через некоторое время движение тела (7) с заданной скоростью $v_s = A$. Тогда, следуя методу АКАР и введя макропеременную $\psi = v - A$, на основе функционального уравнения

$$m\dot{\psi}(t) + \alpha\psi = 0 \tag{8}$$

в силу уравнений (7) находим

$$F = -\alpha(v - A). \tag{9}$$

Подставив (9) в (7), получаем следующее уравнение движения тела:

$$m\dot{v}(t) = \alpha A - \alpha v = F_0 - \alpha v , \tag{10}$$

которое, естественно, точно совпадает с уравнением (3), постулированным авторами книги [12]. Решение уравнения (10) описывается выражением (4). Уравнению (10) и, следовательно, выражению (4) можно дать разную интерпретацию. Так, например, следуя [12] и др., можно, разумеется, сказать, что уравнение (10) описывает движение тела под действием постоянной силы $F_0 = \alpha A$ в среде с коэффициентом трения α или, по-другому, при действии силы сопротивления, линейно зависящей от скорости v. При движении тела спустя некоторое время функция $e^{-\frac{\alpha t}{m}}$ в выражении (4) станет, очевидно, пренебрежимо малой, и в результате мы получим закон Аристотеля:

$$\dot{x}(t) = v(t) = A , \tag{11}$$

т.е. постоянной силе A будет соответствовать постоянная скорость.

Несмотря на предельную простоту получения методом АКАР соотношений (9)–(11), они позволяют (без скрытой иронии) сделать ряд неочевидных выводов. Иначе говоря, опираясь на эти выражения, можно посмотреть на глубинную связь механик Аристотеля и Галилея–Ньютона и с точки зрения идеологии СТУ, а именно:

- во-первых, очевидно, что так называемый «закон Аристотеля» (11) – это аттрактор, к которому притягиваются все траектории движения системы (10);
- во-вторых, как следствие, движение системы (10) после ее выхода на указанный аттрактор должно, согласно СТУ, описываться уравнением более низкого порядка, т.е. в данном случае уравнением Аристотеля (11), которое и является *асимптотическим пределом решения* (4);
- в-третьих, представление силы $F(t)$ как функции времени позволяет выявить дополнительные особенности указанной связи. Для этого подставим решение (4) в правую часть уравнения (10), т.е.

$$m\dot{v}(t) = F_0 - \alpha A\left(1 - e^{-\frac{\alpha t}{m}}\right) + \alpha v_0 e^{-\frac{\alpha t}{m}}, \tag{12}$$

где $F_0 = \alpha A$. Формально выражение (12) можно интерпретировать как второй закон Ньютона (6), в котором сила $F(t)$ является переменной во времени. При этом на начальном участке времени, когда $e^{-\frac{\alpha t}{m}} \approx 1$, имеем $F \approx const$. Закон (12) с силой $F(t)$, зависящей от времени, заметно отличается по своим свойствам от обычно рассматриваемых двух основных случаев, во-первых, когда $F = const$, что соответствует исходной записи второго закона Ньютона, и, во-вторых, когда $F = 0$, что соответствует первому закону Ньютона о прямолинейном движении с постоянной, но неизвестной скоростью. Указанные два случая детально рассмотрены многочисленными авторами, в том числе и книги [12]. Однако, что касается случая $F(t)$, то он почему-то оказался вне особого внимания, хотя он и достаточно естественным образом вписывается в идеологию второго закона Ньютона, с точки зрения его общенаучной формулировки. По меньшей мере, нам пока не встречались в обширной литературе какие-либо соображения, запрещающие или ограничивающие рассмотрение этого случая. Между тем, рассмотрение $F(t)$ как силы, изменяющейся по определенным функциям времени, позволяет выявить новые особенности второго закона Ньютона с мировоззренческой точки зрения. Так, например, использование $F(t)$, в отличие от случаев $F = const$, позволяет *упорядочить движение* системы (10) путем вывода ее движения на аттрактор (11) – закон Аристотеля. Иначе говоря, функция $F(t)$ может таить в себе свойства, которые придают новые особенности закону Ньютона. Разумеется, что подобные утверждения могут вызвать возражения, однако, на наш взгляд, они никак не нарушают суть второго закона Ньютона в его обобщенной формулировке.

Подчеркнем, что в течение столетий многие естествоиспытатели и философы изучали проблему связи механик Аристотеля и Галилея–Ньютона, обычно полагая $F = 0$ или $F = const$, откуда и следовала их интерпретация первого закона Ньютона $F = 0$ о равномерном и прямолинейном движении тела в течение сколь угодно большого времени либо второго закона $F = const$, сыгравшего выдающуюся роль в развитии механики. Между тем, закон (12), оставаясь на некотором участке движения аналогом второго закона Ньютона, с течением времени, согласно (12), переходит в закон Аристотеля (11). Это и означает, что выявленная здесь асимптотическая связь между механиками Аристотеля и Галилея–Ньютона может быть естественным образом проинтерпретирована в терминах СТУ, а именно на основе ее базового принципа «расширения – сжатия фазового пространства». В самом деле, закон Аристотеля (11) может быть условно отнесен, например, к самому нижнему инварианту – аттрактору в вертикали динамически связанных инвариантов «*иерархической корзины*» (рис. 1). Отсюда, естественно, следует, что то дифференциальное уравнение, аттрактором которого является, в частности, закон Аристотеля (11), должно иметь более высокую размерность по сравнению с размерностью указанного аттрактора. Именно этот эффект и имеет место применительно к уравнению (10), которое, как и (3), можно назвать своего рода «*обобщенным уравнением Ньютона*» («*ОУН*»). Разумеется, что «ОУН» – это весьма условное название, однако построенное методом АКАР уравнение (10) позволяет дать в известном смысле новую интерпретацию *асимптотическому соответствию* механик Аристотеля и Галилея–Ньютона [12].

Итак, «ОУН» (10) и в самом деле имеет размерность, на единицу большую размерности закона Аристотеля – аттрактора «ОУН». Иначе говоря, в данном случае справедлива гипотеза о «*скрытых переменных*». Причем здесь «скрытой переменной» является именно *ускорение* согласно второму закону Ньютона. Это, на наш взгляд, хотя и совершенно очевидный, но достаточно важный мировоззренческий вывод.

Таким образом, закон Аристотеля (11) – это не просто некоторое сомнительное утверждение древнего ученого, а одно из *необходимых звеньев в иерархической вертикали* динамических законов природы. Как говорил выдающийся физик В. Гейзенберг, «Восприняв от античности идею о математическом истолковании порядка в природе, современное естествознание осуществляет ее, однако, другим... способом ... Наука нового времени показала, что в окружающем нас реальном мире неизменными являются не геометрические формы, а *динамические законы*...». Здесь также уместно привести и высказывание Э. Морена: «Не следует забывать о том, что за последние сто лет проблема детерминизма претерпела существенные изменения... На смену представлениям о высших, не ведающих индивидуальных различий перманентных законах, безраздельно властвующих над всем происходящим в природе, пришли представления о *законах взаимодействия*... Но это еще не все: проблема детерминизма превратилась в проблему порядка во Вселенной. Порядок же подразумевает существование в окружающем мире не только законов, но и чего-то еще: ограничений, инвариантностей, постоянства каких-то соотношений, той или иной регулярности... Стирающий всякие различия, обезличивающий подход старого детерминизма сменился всячески подчеркивающим различия эволюционным подходом, основанным на использовании детерминаций» [15]. Естественно, возникает ключевой вопрос науки: каким образом находить и формулировать такого рода законы и закономерности? Этому вопросу в течение столетий посвятили свои труды многие великие ученые и философы, которые выдвигали разные принципы и теории. Однако какой-либо приемлемый ответ на него до сих пор отсутствует. Развитая в этой книге общенаучная концепция единства процессов самоорганизации и управления, а также гипотеза о «скрытых переменных» позволяют сделать достаточно важные шаги в направлении ответа на такого рода вопросы по поводу развития системной физики.

Подведем общие итоги по применению идеологии СТУ для выявления *скрытой асимптотической связи* между механиками Аристотеля и Галилея–Ньютона.

Итак, закон Аристотеля (11) – это *первый* в ряду последующих законов сохранения физики – сохранения энергии в гамильтоновой механике, постоянной скорости света в теории относительности А. Эйнштейна и т.д. Очевидно, что такая трактовка закона Аристотеля может вызвать возражения, особенно адептов классической механики.

В связи с этим приведем некоторые примеры, подтверждающие наши соображения. Начнем с гамильтоновых, т.е. консервативных систем, исследованию которых посвятили свои труды многие выдающиеся ученые XVIII–XX веков. Такие системы обладают универсальным свойством *сохранения энергии* – одной из ключевых *асимптотик* в механике Ньютона. В общем виде консервативные системы описываются следующим уравнением Ньютона:

$$m\ddot{x}(t) = -F(x), \tag{13}$$

т.е. здесь сила F является функцией положения движущегося тела. Системы вида (13) имеют колебательный режим движения. Однако, с точки зрения свойства сохранения, консервативные системы вовсе не являются «абсолютно чуждыми механике Аристотеля», как это утверждают авторы книги [12]. Дело в том, что системы (13), как это уже отмечалось выше, обладают свойством сохранения энергии, что можно представить в следующей форме:

$$\dot{x}(t) = v = \sqrt{2E_0 - \frac{2}{m} f(x)}, \tag{14}$$

где $E_0 = const$ – полная механическая энергия. Общность выражения (14) и закона Аристотеля (11) заключается в том, что в обоих случаях именно *скорость стационарного движения* v, в конечном итоге, и является характерной величиной, определяющей асимптотику – аттрактор механической системы. Отличие же состоит в том, что в законе Аристотеля (11) скорость $v = A = const$, а в (14) она зависит еще и от положения тела. Хотя это отличие и привело, как, например, утверждают авторы [12] и др., к принципиальному прорыву в развитии классической механики, однако с точки зрения СТУ указанное отличие имеет второстепенный характер. Согласно СТУ, как (14), так и закон Аристотеля (11), – это аттракторы реальной системы, описывающей движение тела. Другое дело, что в «чистом виде», т.е. самостоятельно и без взаимодействия с внешней средой, консервативные системы вида (14) в реальности, на наш взгляд, достаточно долго существовать не могут. Консервативные системы вида (14) – это идеализированная модель, которая в определенной мере отражает процессы стационарного движения (13) реальных колебательных систем.

Покажем, опираясь на метод АКАР, что это утверждение и в самом деле справедливо. Для этого в (13) положим

$$F(x) = \omega_0^2 mx. \tag{15}$$

Тогда выражение (14) примет вид

$$\dot{x}(t) = v = \sqrt{2E_0 - \omega_0^2 x^2}. \tag{16}$$

Для синтеза реальной колебательной системы, имеющей аттрактор (16), сформулируем на основе (16) следующую энергетическую макропеременную [9]:

$$\psi_1 = \dot{x}^2(t) + \omega_0^2 x^2 - 2E_0, \tag{17}$$

а функциональное уравнение (8) запишем в виде

$$m\dot{\psi}_1(t) + \beta\,\dot{x}^2(t)\psi_1 = 0, \tag{18}$$

где $\alpha = \beta\,\dot{x}^2(t)$. Теперь, подставив ψ_1 (17) в (18), на основе закона Ньютона (7) найдем силу

$$F = m\dot{v}(t) = -m\omega_0^2 x(t) - 0{,}5\beta\,\dot{x}(t)\psi_1. \tag{19}$$

Тогда уравнение реальной колебательной системы (7) примет следующий вид:

$$m\ddot{x}(t) + m\omega_0^2 x(t) + 0{,}5\beta\,\dot{x}(t)\psi_1 = 0. \tag{20}$$

Уравнение (18) асимптотически устойчиво по Ляпунову относительно $\psi_1 = 0$, откуда следует, что с течением времени система (20) неизбежно выходит на аттрактор $\psi_1 = 0$ (17), стационарное движение на котором будет описываться уравнением

$$\ddot{x}_\psi(t) + \omega_0^2 x_\psi = 0. \tag{21}$$

Очевидно, что уравнение (21) – это асимптотика реальной колебательной системы (7) под действием силы (19). Решение дифференциального уравнения (21) имеет вид

$$x_\psi(t) = \frac{\sqrt{2E_0}}{\omega_0}\sin(\omega_0 t + \varphi_0), \tag{22}$$

т.е. в реальной системе (20) на ее стационарном движении – аттракторе (16) – обязательно возникают гармонические колебания с амплитудой $A = \frac{\sqrt{2E_0}}{\omega_0}$ и частотой ω_0. Именно исследованию свойств колебательных систем как вида (21), так и более общих консервативных систем (13) с разными функциями $F(x)$, посвящена обширная литература. Однако еще раз подчеркнем, что эти системы описывают только стационарное колебательное движение реальных систем. Другие новые классы реальных нелинейных колебательных систем, синтезированных методом АКАР, приведены в работах [9, 16].

В истории науки отдельной грандиозной проблемой стоит сложнейшая и до сих пор в должной мере не решенная проблема изучения движения небесных тел, т.е. теория небесной механики. На пути развития этой теории ключевыми вехами явились, как известно, труды Кеплера и Ньютона. На основе инвариантов Кеплера и своего второго закона Ньютон предложил, а фактически постулировал, знаменитый закон тяготения. Иначе говоря, он предложил в уравнении вида (13) использовать следующую функцию:

$$F(x) = \frac{\sigma m M}{x^2} = \frac{\sigma m M}{r^2}, \tag{23}$$

где $x = r$ – радиус эллиптического движения пробного тела массой m вокруг «притягивающего» тела массой M. Более подробно о свойствах такого движения изложено в [5, 17], где показано, что система гравитационного взаимодействия с законом (23) является консервативной и, следовательно, *не обладает аттрактором* – притягивающим множеством. Эта система имеет первый интеграл

$$\dot{\omega}_1(t) = \dot{r}(t) - \frac{eh}{p}\sin\theta, \tag{24}$$

квадрат которого равен энергии стационарного движения двух тел, гравитационно-взаимодействующих друг с другом. На основе динамического инварианта $\dot{\omega}_1(t) = 0$ (24) нами был построен *новый, системный закон тяготения*, который, на наш взгляд, и описывает реальную систему гравитационного взаимодействия [5, 17].

Теперь снова вернемся к выводу закона Аристотеля, как к желаемому аттрактору, в предположении, что кроме принудительной силы F на систему также действует и некоторая сила сопротивления $f = const$. Тогда, согласно второму закону Ньютона, исходное уравнение движения системы будет иметь вид

$$m\ddot{x}(t) = m\dot{v}(t) = F + f. \tag{25}$$

Поставим следующую задачу: найти такую силу $F(v)$, которая обеспечивает движение системы (25) с желаемой скоростью $v_s = A$ и, кроме того, подавляет любое постоянное сопротивление $f = const$. Построим, согласно методу АКАР, *расширенное уравнение синтеза*

$$m\dot{v}(t) = F + z, \quad \dot{z}(t) = \beta(v - A). \tag{26}$$

Теперь, используя макропеременную $\psi = v - A$, на основе функционального уравнения

$$m\dot{\psi}(t) + \alpha\psi = 0$$

в силу уравнений (26) получим выражение для принудительной силы

$$F = -\alpha(v - A) - z,$$

где $z = \beta \int_0^\infty (v - A)dt$.

Подставив F (27) в (25), получим следующее уравнение движения системы:

$$m\dot{v}(t) = -\alpha(v - A) - \beta \int_0^\infty (v - A)dt + f,$$

продифференцировав которое по времени, будем иметь

$$m\ddot{v}(t) + \alpha v + \beta v = \beta A. \qquad (28)$$

Итак, получено уравнение движения (28) системы (25) под действием принудительной силы F (27). Очевидно, что стационарное движение системы (28) определяется (при $\alpha > 0$, $\beta > 0$) законом Аристотеля $v_s = A$ (11), т.е. заданной скоростью движения при действии на систему силы сопротивления $f = const$. Иначе говоря, методом АКАР решена поставленная выше задача построения системы на основе второго закона Ньютона.

Однако главное здесь в другом. Дело в том, что уравнение (28) имеет размерность, на единицу большую размерности аналогичного уравнения (10), из которого также следует закон Аристотеля (11). Это означает, что повышением размерности уравнения, описывающего движение соответствующей системы, можно, согласно *гипотезе о «скрытых переменных»*, придать системе *новые свойства*, т.е. в данном случае свойство подавления силы сопротивления $f = const$. В самом деле, исходное уравнение (25) – это, вообще говоря, аналог второго закона Ньютона, в котором сила F была выбрана в виде (27), что позволило по-новому взглянуть на задачу движения тела в условиях действия внешней среды. Если же в (28) положить $\alpha = 0$, $A = 0$ и $\beta = \omega_0^2$, то мы получим аналог одного из широко известных уравнений консервативных систем. Разумеется, что подобные утверждения могут вызвать дискуссию и, в частности, может возникнуть вопрос о физическом смысле функции $\ddot{v}(t)$ в уравнении (28). Формально $\ddot{v}(t)$ – это «скорость изменения ускорения». Этот вопрос аналогичен вопросу о сущности второго закона Ньютона, о котором в течение уже трех веков ведется дискуссия, периодически вспыхивающая в научной и философской литературе.

Таким образом, повышение размерности систем позволяет, вообще говоря, придать им своего рода свойство эмерджентности – ключевое свойство синергетического подхода в науке о сложных системах. Именно такой подход и позволил нам разработать принципиально новую теорию гарантирующего адаптивного управления, позволившую решить сложную проблему синтеза гарантирующих регуляторов без текущего измерения внешних наихудших возмущений.

Следуя рекомендациям Анри Пуанкаре о том, что «лучшим методом для предвидения будущего развития математических наук является изучение истории и нынешнего состояния этих наук», мы в историческом ракурсе кратко рассмотрели ключевую проблему об *асимптотической связи* между механиками Аристотеля, Галилея–Ньютона и гамильтоновой механикой с точки зрения идеологии СТУ и метода АКАР. На наш взгляд, именно такой подход и позволил выявить важную *системно-иерархическую связь* между принципами классической механики в процессе ее «эмбрионального развития» от Аристотеля до гамильтоновой механики и концепцией «единства процессов самоорганизации и управления», на которой основаны СТУ и метод АКАР.

Заключение. Подведем теперь общие итоги и сделаем ряд мировоззренческих выводов. Итак, можно построить следующую цепочку «законов сохранения», сыгравших ключевую роль в истории развития естествознания: *инвариант Аристотеля* $v = A$ (11) $\longrightarrow$ *динамический гравитационный инвариант* $\dot{\omega}(t) = 0$ (24), *из которого следует закон тяготения Ньютона*, $\longrightarrow$ *законы сохранения* (14) *энергии гамильтоновой механики*. Отсюда следует, что закон Аристотеля (11) находится в самом начале указанной замечательной эстафеты «законов сохранения». Однако для того, чтобы «законы сохранения» стали аттракторами реальных систем, взаимодействующих с внешней средой, известных законов движения классической механики, на наш взгляд, еще явно недостаточно, а следует перейти на новые *системные основы*, используя идеологию СТУ и метода АКАР. Согласно этой идеологии, закон Аристотеля (11) находится на самом низу иерархической корзины (рис. 1), а второй закон Ньютона располагается уже на следующем, верхнем этаже указанной корзины. Между этими законами, согласно СТУ, существует, как это было показано выше, динамическая взаимосвязь, приводящая к их асимптотической редукции в процессе движения реальной системы к своему аттрактору.

На следующем этаже по сравнению с механикой Галилея–Ньютона, по установившемуся в современной науке мнению, находится теория относительности Эйнштейна с ее асимптотикой «малых» времен или скоростей [12]. В науке остается не решенным вопрос о том, как «подниматься» вверх по иерархической лестнице вкладываемых друг в друга теорий. Пока это является плодом везения, гениальности и прозрения великих ученых, определяющих пути развития науки. По отношению же к рассматриваемой здесь проблеме об *асимптотическом соответствии* между механиками Аристотеля и Галилея–Ньютона можно, вслед за авторами [12], процитировать следующее замечательное высказывание Э. Троппа: «Физика Аристотеля, а еще больше физика парижских номиналистов Буридана и Николая Орема более близка к опыту здравого смысла, чем физика Галилея и Декарта. Не «опыт», а «экспериментирование», сыграло – но только позже – существенно положительную роль. Экспериментирование состоит в методическом задавании вопросов природе; это задавание вопросов предполагает и включает в себя некоторый язык, на котором формулируются вопросы, а также некоторый словарь, позволяющий нам читать и интерпретировать ответы. Согласно Галилею, языком, на котором мы должны обращаться к природе и получать ее ответы, является математический или, точнее, *геометрический язык* (*а не язык здравого смысла или чистых символов*). Выбор языка, решение его применять не могут определяться экспериментом, ибо сама возможность проведения последнего определяется использованием языка» [14].

В нашем понимании таким языком является именно *язык «скрытых переменных» и их размерностей* в соответствии с «матрешкой», вкладываемых друг в друга законов движения (рис. 1). Это – базовое положение СТУ, т.е. идеологии единства процессов самоорганизации и управления. Указанный язык и позволит, на наш взгляд, выявить реальные пути развития системной физики. Рассмотренный выше с точки зрения СТУ *асимптотический переход* по схеме «теория принудительного движения Аристотеля $\longrightarrow$ механика Галилея–Ньютона $\longrightarrow$ теория импетуса Буридана–Орема $\longrightarrow$ гамильтонова механика $\longrightarrow$ СТУ и метод АКАР» показал, что соответствующие этим теориям *законы движения* «вкладываются» друг в друга в полном соответствии с иерархической «матрешкой» динамически взаимодействующих между собой инвариантов систем соответствующей природы (рис. 1). Рассмотренный переход между указанными теориями и является, на наш взгляд, одной из важных предпосылок возникновения системной физики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Хакен Г.* Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. – М.: Мир, 1985.
2. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. – М.: Едиториал УРСС, 2003.
3. *Колесников А.А.* Синергетическая теория управления. – М.: Энергоатомиздат, 1994.
4. *Колесников А.А.* Синергетические методы управления сложными системами: Теория системного синтеза. – М.: КомКнига, 2006.
5. *Колесников А.А.* Прикладная синергетика: основы системного синтеза. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007.
6. *Somsikov V.M.* Non-recurrence problems in evolution of a hard-disk systems // Jnt. Jour. Bifurcation and Chaos. – 2001. – № 11. – P. 2863-2866.
7. *Somsikov V.M.* Thermodynamics and classical mechanics // Jornal of Physics. Conference series. – 2005. – № 23. – P. 7-16.
8. *Кадомцев Б.Б.* Динамика и информация. – М.: УФН, 1997.
9. *Колесников Ал.А.* Управление нелинейными колебаниями: энергетические инварианты // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2009. – № 2. – С. 24-37.
10. *Колесников А.А.* Проблемы синтеза естественных закономерностей: синергетическая гипотеза тяготения // Известия ТРТУ. – 2006. – № (61). – С. 39-72.
11. *Колесников А.А.* Гравитация и самоорганизация. Сер. “Relato Refero”. – М.: КомКнига, 2006, 2007.
12. *Андрианов И.В., Баранцев Р.Г., Маневич Л.И.* Асимптотическая математика и синергетика. – М.: Едиториал УРСС, 2004.
13. *Клайн М.* Математика. Поиск истины: Пер. с англ. / Под ред. В.И. Аршинова и Ю.В. Сачкова. – М.: Мир, 1988.
14. *Тропп Э.А.* Идея пограничного слоя за пределами теории Прандтля // Проблемы механики жидкости и газа, 2000.
15. *Морен Э.* Метод. Природа Природы. – М.: Прогресс-Традиция, 2005.
16. *Колесников А.А., Веселов Г.Е., Попов А.Н., Колесников Ал.А. и др.* Синергетические методы управления сложными системами: механические и электромеханические системы. – М.: КомКнига, 2006.
17. *Колесников А.А.* Кибернетика и синергетика: концептуальный альянс. Размышления о новой научной концепции. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор И.М. Першин.

Колесников Анатолий Аркадьевич
Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.
E-mail: anatoly.kolesnikov@gmail.com.
347900, г. Таганрог, ул. Чехова, 2.
Тел.: 88634360707.
Кафедра синергетики и процессов управления; заведующий кафедрой; д.т.н.; профессор.

Kolesnikov Anatoliy Arkad’evich
Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.
E-mail: anatoly.kolesnikov@gmail.com.
2, Checkhov Street, Taganrog, 347928, Russia.
Phone: +78634360707.
The Department of Synergetics and Control; Head the Department; Dr. of Eng. Sc.; Professor.