

**ГЕННАДИЙ ПОВЕЩЕНКО,**

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института прикладного системного анализа НАН Украины*

**ЮРИЙ ЧЕХОВОЙ,**

*доктор технических наук*

## **Математическая модель структурной эволюции общественных производительных сил<sup>1</sup>**

*Abstract*

*Mathematical model of social productive forces structural evolution is discussed, particularly with regard to evolution of social production of life. There are analyzed some methodological grounds and issues of mathematical modeling, like correlation between accuracy and complexity/simplicity of models. There are presented both conceptual model of social production of life (by V.Khmelko) and mathematical model developed according to the conceptual one.*

“В мире создано свыше десятка глобальных моделей, инициированных Римским клубом с целью исследования и оценки вариантов развития мира и отдельных его регионов. Но практически во всех существующих более или менее завершенных моделях отсутствует *социальный блок* (курс. наш. — Г.П., Ю.Ч.)”, — пишет современная исследовательница социологии культуры [1]. Наличие такой лакуны она справедливо объясняет чрезвычайной слож-

---

<sup>1</sup> Авторы выражают искреннюю благодарность научным работникам Киевского международного института социологии — Владимиру Паниотто, Валерию Хмелько и Леониду Финкелю — за плодотворное обсуждение темы (в том числе на общих научных семинарах), без которого эта статья никогда не была бы написана. Авторы весьма признательны Татьяне Таран за внимательное прочтение рукописи статьи и ряд содержательных замечаний.

ностью социальных, да и вообще любых общественных процессов. Тем не менее методология “мировой динамики” Дж.Форрестера [2], которой, собственно, и пользовался Римский клуб, как раз и позволяет создавать упрощенные модели даже очень сложных систем. И хотя за эту упрощенность некоторые пуристы подвергали “мировую динамику” жестокой критике, мы склонны присоединиться к мнению академика Д.Гвишиани относительно того, что именно упрощенность позволяла “успешно строить математические модели... и с их помощью глубже понимать качественное поведение сложных систем” [3].

Эта статья, ни в малейшей степени не претендуя на заполнение упомянутой лакуны, имеет целью представить читателям по крайней мере один пример применения методологии математического моделирования динамики одного достаточно непростого процесса социальной эволюции.

### ***1. Концептуальная модель общественного производства жизни (по В.Хмелько) и некоторые методологические основы математического моделирования***

Украинский социолог В.Хмелько еще в первой половине 70-х годов минувшего столетия разработал концепцию общественного производства жизни как процесса воспроизводства общества, изложенную в многочисленных печатных трудах разных лет [см.: 4–9 и др.]. Автор рассматривает общественное производство жизни как комплексное явление, представляющее собой целостный процесс лишь по конечному результату, каковым выступает человеческое общество. В то же время эта целостность — в непосредственной связи с неоднородностью самого социума как системы — структурируется в систему взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов производства: (1) носителей социальной жизни — людей, (2) предметных условий их существования — средств к жизни и (3) социальных условий их существования — общественных отношений [10].

За недостатком места в данной статье мы не имеем возможности детально изложить все основные положения этой концепции и авторскую аргументацию в ее пользу. Наша задача скромнее: построить математическую модель собственно “производственной” подсистемы того сложного комплекса процессов, которые рассматривает В.Хмелько, а именно — процессов продуцирования (“производства”) элементов общества — самих людей и их средств к жизни.

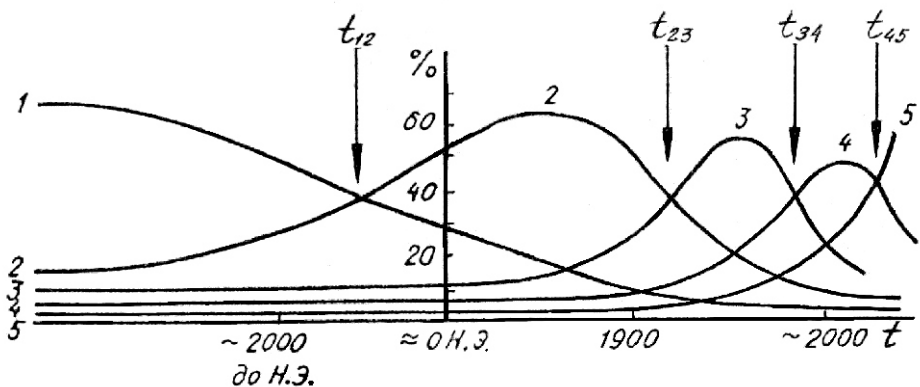
Такой наш выбор продиктован двумя соображениями: во-первых, по нашему мнению, эта подсистема является центральной во всей авторской концепции и в значительной мере обуславливает и определяет характер других подсистем исследуемого комплексного процесса; во-вторых, она лучше всего структурирована, имеет ярко выраженный динамический характер и именно поэтому лучше всего поддается математическому моделированию.

Общественное производство элементов общества В.Хмелько рассматривает как систему процессов, которые сложились с развитием разделения труда. Структуризацию этой системы автор осуществляет путем декомпозиции совокупного процесса продуцирования самих людей на две (а средств к жизни — на три) сферы, по специфическим качественным признакам их конечных продуктов. По этой методологии общественное воспроизводство

разделяется на пять сфер: 1) воспроизводство людей как живых существ, первично — деятельность по потреблению продуктов природы (через собирательство, охоту), обеспечивающая только биологическое воспроизводство; 2) производство пищевых средств к жизни (то есть земледелие и скотоводство), в процессе которого человек не просто присваивает продукты потребления, созданные природой, но и выступает соучастником этого процесса созидания; 3) производство вещных средств к жизни, в развитом состоянии — промышленное (индустриальное) производство; 4) производство знаковых (информационных) средств к жизни и 5) производство и воспроизводство людей как социальных существ, как личностей [11].

Далее автор (с использованием исторических и архивных источников, результатов переписей и т. п.) оценивает доли (в процентах) каждой из выделенных производственных сфер в общих затратах общественного труда, а также их изменения в течение исторического времени. Результаты такой оценки дают нам очень интересную картину структурной эволюции общественных производительных сил, имеющей ярко выраженный волнообразный (рис. 1) [5; 6; 12]. Эта картина, хотя и опубликована за два года до выхода в свет книги “Третья волна” Э.Тоффлера, весьма определенно перекликается с рассуждениями этого американского исследователя о трех волнах человеческой цивилизации — аграрной, индустриальной и постиндустриальной, хотя, по нашему мнению, рис. 1 дает более полную картину и графики 1 и 5 на этом рисунке имеют такой же волнообразный характер, как и все остальные (2, 3 и 4). Некоторые очевидные отличия, которые бросаются в глаза, связаны всего лишь с тем, что первую волну мы застаем в фазе спада, а пятую — в фазе подъема.

Рис. 1. Эмпирическая картина структурной эволюции производительных сил (нелинейный масштаб времени):



1 — первобытная присваивающая деятельность; 2 — аграрное производство; 3 — индустриальное производство; 4 — информационное производство; 5 — производство целостного человека как творческой личности;  $t_{12}$ ,  $t_{23}$ ,  $t_{34}$ ,  $t_{45}$  — моменты смены производственных доминант (паритетные точки).

Анализ исторического процесса структурной эволюции производительных сил позволил автору найти и сформулировать весьма важные закономерности, которые мы представим здесь в сокращенном виде. На каждом этапе исторического развития общественного производства существует своя доминанта (доминирующая сфера), то есть тот вид производства, который забирает наибольшую долю совокупного общественного труда и определяет место и роль всех других сфер производства. По мере развития различных компонентов производительных сил пропорции распределения совокупного общественного труда между различными сферами изменяются, что требует перетока рабочей силы из одних производственных сфер в другие. Так, скажем, в начале “индустриальной революции” (см. рис.1) количество занятых во 2-й (аграрной) производственной сфере уменьшается, а в 3-й (индустриальной) — увеличивается. Вместе с тем, сокращение затрат общественного труда во 2-й сфере отнюдь не означает сокращения производства аграрной продукции. Напротив, потребность в такой продукции продолжает расти (хотя бы уже потому, что продолжается демографический рост), то есть возрастает и ее фактическое производство. Это означает, что после достижения графиком 2 своего апогея завершается процесс экстенсивного развития аграрной сферы производства и начинается процесс ее интенсификации, то есть повышения производительности труда. Это, по всей видимости, происходит за счет новых орудий труда и новых технологий, обеспечиваемых 3-й (индустриальной) и 4-й (информационной) производственными сферами. В свою очередь, этот процесс был бы невозможен без экстенсивного развития 3-й и 4-й сфер, что в этот период, собственно, и наблюдается (см. рис.1).

Таким образом, на каждом этапе исторического развития наибольшую скорость экстенсивного роста демонстрирует та производственная сфера, продукция которой в наибольшей мере способствует интенсификации производственных процессов в доминирующей сфере. Это приводит к перетеканию трудовых ресурсов из доминирующей сферы в экстенсивно растущую и, наконец, — к изменению доминанты [13].

Этот важный вывод не только объясняет “волнообразный” характер структурной эволюции продуктивных сил, но и проясняет ее глубинную, объективную причинно-следственную сущность, что, на наш взгляд, обуславливает большие прогностические возможности концептуальной модели В.Хмелько.

Здесь мы не можем удержаться от одного важного, на наш взгляд, методологического замечания. Уже упоминавшиеся в начале статьи “пуристы” могут упрекнуть проф. В.Хмелько в том, что его концептуальная модель слишком упрощенна и не охватывает всех форм и видов человеческой деятельности, тем более применительно к нашему времени с его чрезвычайно разветвленным разделением труда. Оспаривать эти обвинения не имеет смысла, ибо и в самом деле, если, скажем, для весьма многочисленной сегодня государственной бюрократии мы еще можем найти место в приведенной модели, то деятельность армии, полиции или же уголовных элементов, равно как и любые иные виды охранительной и разрушительной деятельности (по отношению к определенному обществу), в этой модели не отображены. Таким образом, следует признать, что модель и в самом деле упрощенная, приближительная. Однако недостаток ли это её или, наоборот,

преимущество? Это как раз и есть тот методологический вопрос, на который мы попытаемся дать ответ.

Ярчайший (до банальности) исторический пример — “законы механики” И.Ньютона. Уже после трудов А.Эйнштейна мы знаем, что уравнения И.Ньютона — это не законы в точном смысле этого слова, а всего лишь упрощенные модели, и, тем не менее, они легли в основу небесной механики, позволили с большой точностью делать расчет движения планет, прогнозировать солнечные и лунные затмения и т. д. Уточнение же, сделанные А.Эйнштейном, нашли применение в ядерной физике, космогонических исследованиях и т. п.

После этого примера ответ на поставленный методологический вопрос представляется вполне очевидным. Наука вообще дает не абсолютно точные, а только упрощенные модели.

Неупрощенная, то есть “абсолютно точная” модель — это вообще нон-сенс, поскольку она с очевидностью должна быть тождественна самому объекту исследования. То есть воображаемый исследователь, создавший такую модель, парадоксальным образом оказывается у “разбитого корыта”: один на один с объектом исследования и его бесконечной сложностью, после чего все придется снова начинать “с самого начала”. Это, конечно, предельная ситуация, поскольку “абсолютно точные” модели если и существуют, то разве что в виде знаменитых “эйдосов” Платона (вопрос для философов), и никакого практического значения не имеют.

На практике же при построении любых (концептуальных, математических) моделей реальных явлений окружающего мира нам всегда приходится искать компромисс между сложностью (точностью) и упрощенностью (приблизительностью) модели. Вполне понятно, что конкретное решение этой задачи прежде всего зависит от цели моделирования, то есть от того, что именно с помощью этой модели мы хотим исследовать, на какой вопрос ответить. Как и большинство прикладных задач компромиссного характера, эта также не имеет однозначного решения, хотя общее правило можно сформулировать примерно так: “уточнение законов ведет к снижению их прогностической силы... Наоборот, снижая полноту описания, получают повышение прогностической силы, хотя... теряется точность” [14]. Подробные рассуждения на эту тему можно найти, например, в трудах выдающегося математика, механика и мыслителя А.Пуанкаре [15].

Возвратимся, однако, к нашей теме и рассмотрим снова рис. 1. Сразу бросается в глаза, что его графики построены в нелинейном масштабе времени: чем больше мы приближаемся вдоль оси времени  $t$  к нашим дням, тем больше этот масштаб становится “растянутым”. Эта нелинейность, очевидно, используется автором для того, чтобы придать графикам 1–5 более наглядный и гармоничный вид. Для сравнения на рис. 2 приведены те же самые графики, однако построенные уже в естественном, то есть линейном масштабе времени. Это дает возможность наглядно оценить, насколько сильно ускоряется ход эволюционных процессов по мере их приближения к настоящему времени. Скажем, за последние два столетия в структуре общественных производительных сил произошло гораздо больше изменений, чем за десятки тысячелетий предшествующей истории человечества, где эти изменения вообще едва заметны. По нашему мнению, это ускорение связано с приблизительно экспоненциальным возрастанием численности

человечества, на что обращал внимание еще Т.Р.Мальтус и что в общих чертах (то есть с более или менее серьезными оговорками) подтверждают современные демографы. Причинно-следственная связь возрастания численности человечества и ускорения эволюционных процессов достаточно очевидна: возрастает плотность населения, интенсифицируются торговые и интеллектуальные коммуникации, ускоряется распространение новых идей, изобретений, продукции и т. п. Все это повышает эффективность “коллективного” разума человечества и способствует ускорению эволюции.

Наличие подобного ускорения исследователи общественных процессов (экономисты, социологи, философы и т. п.) заметили достаточно давно, что и было ими зафиксировано в ряде “революционных” терминов: неолитическая (аграрная) революция, промышленная (индустриальная) революция, постиндустриальная (научно-техническая, информационная) революция; что дальше? До некоторой степени применение такой терминологии можно обосновать не только собственно значительным ускорением общественных процессов, но еще и тем, что сегодня их скорость иной раз превышает адаптационные возможности как отдельного человека, так и целых (не самых динамичных) современных обществ. Это обстоятельство породило как ряд социальных кризисных явлений, так и целое море публикаций с разного рода апокалиптическими прогнозами и рассуждениями о кризисе современной цивилизации. Все это означает, что ускорение общественных процессов вообще и процессов структурной эволюции продуктивных сил, в частности, на наших глазах перерастает некий предел, приобретая характер глобальной проблемы, и поему заслуживает самого серьезного внимания со стороны научного сообщества. Именно в этом контексте мы и усматриваем задачу нашего небольшого изыскания.

Выше мы между прочим заметили, что упомянутую “революционную” терминологию можно обосновать лишь “до некоторой степени”. На самом же деле мы вообще против такой терминологии. Согласно почти современному словарю, “революция (франц. revolution... — переворот) — коренное качественное изменение, резкий скачкообразный (курс наш. — Г.П., Ю.Ч.) переход от одного качественного состояния к другому...” [16]. Однако на эмпирических графиках, на рис. 1 или рис. 2, мы наблюдаем лишь изменения скорости эволюционных процессов и не видим никаких “скачков”, или, как говорят математики, “разрывов непрерывности”. Этому факту, помимо ссылки на эмпирический опыт, можно дать и вполне логичное содержательное объяснение. Научно-технические идеи, которые, собственно и являются одной из движущих сил эволюции производительных сил, действительно могут возникать в голове человека одновременно (“скачком”), но их практическое воплощение и распространение, — а только оно и приводит в конечном счете к структурным изменениям в производительных силах, — это процесс, который разворачивается во времени, а отнюдь не “скачок”. Так, от изобретения Героном Александрийским принципа действия паровой турбины до его практического воплощения прошло около девятнадцати столетий.

Мы понимаем, конечно, что любые терминологические споры — это почти всегда заведомо проигрышные акции. Поэтому и в этом вопросе мы говорим, собственно, не о терминологии, а о методологии. Ведь мы поставили перед собою задачу построить математическую модель довольно сложного общественного процесса, а это, прежде всего, требует установ-

ления определенного соответствия между понятийными аппаратами обществоведения и математики.

В математике существует понятие о степени гладкости функций и даже введена шкала, по которой эту гладкость можно оценить. Скажем, ближе к нижнему полюсу этой шкалы расположены так называемые разрывные функции с ограниченными разрывами непрерывности (разрывы 1-го рода). В точке разрыва такая функция не имеет производной (скорость возрастания функции в этой точке “бесконечная”) и скачком переходит от одного значения к другому. Именно такие функции, очевидно, и должны моделировать упомянутые “скачкообразные переходы”, или революции. На противоположном полюсе расположены, наоборот, наиболее гладкие, или так называемые аналитические функции, которые не только лишены каких бы то ни было разрывов или переломов, но и имеют бесконечное количество непрерывных производных. Графики таких функций действительно выглядят гладкими (в обычном, повседневном смысле этого слова), то есть как раз такими, как те, что представлены на рис. 1 и 2.

Из сказанного понятно, почему вопрос о “прыжках” и “революции” для нас носит не терминологический, а принципиальный характер: учитывая рис. 1, мы должны искать нужную нам математическую модель в классе моделей, которые генерируют именно аналитические функции. Кстати, первая попытка математического моделирования исследуемого процесса имитировала как раз “революционную” схему его развития, которую мы считаем неприемлемой и поэтому в данной статье рассматривать подробно не будем [17]<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Предложенная И.Черненко модель является динамической системой, имеющей  $n$  стационарных состояний ( $n$  — общее количество выделенных сфер общественного производства), среди которых на каждом отрезке исторического времени одно — устойчивое, а остальные — неустойчивые. Модель также имеет один переменный параметр  $C_0$  (совокупные затраты общественного труда), постоянно возрастающий и в процессе этого возрастания создающий бифуркационные (“революционные”) ситуации: в начале устойчивое 1-е стационарное состояние передает свойства устойчивости 2-му, 2-е — 3-му и т.д. Каждую фазу приближения производственной доминанты к своему апогею автор рассматривает как приближение всей системы к своему устойчивому стационарному состоянию, а процесс изменения доминант — как обмен стационарных состояний системы свойствами устойчивости. Главным недостатком этой модели мы считаем принципиальную зависимость процесса структурной эволюции от постоянного возрастания параметра  $C_0$ , что, по нашему мнению, недостаточно концептуально обосновано. Более вероятным представляется непосредственное влияние этого параметра на темп эволюционных процессов, о чем мы уже упоминали, а не на их сущностную природу. Кроме того, очевидно, что возрастание параметра  $C_0$  не будет длиться вечно и когда-нибудь обязательно прекратится (вместе с прекращением демографического роста). Предположим (в порядке мысленного эксперимента), что это прекращение состоялось во время доминирования аграрной производственной сферы. Тогда, по модели И.Черненко, аграрная эпоха длилась бы вечно, а индустриальная никогда бы не наступила. Кстати, при построении своей модели автор избрал в качестве наиболее близкого прототипа модель динамики подъема и упадка городов П.Аллена [13], которая с точки зрения поведения имеет очень мало общего с исследуемым процессом.

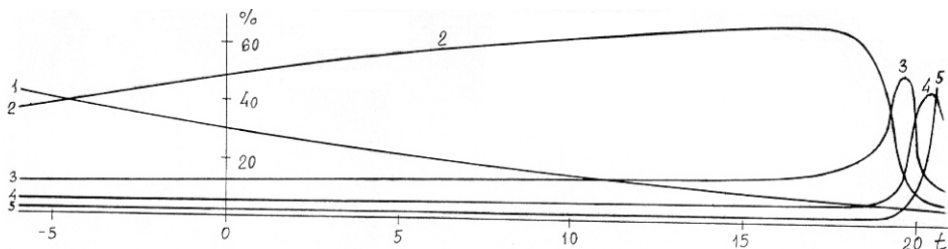


Рис. 2. Эмпирическая картина структурной эволюции производительных сил (линейный масштаб времени).

## 2. Математическая модель

Рис. 1 и 2 демонстрируют, что с течением исторического времени происходят перетоки общественных трудовых ресурсов из любой  $i$ -й производственной сферы в  $(i+1)$ -ю,  $(i+2)$ -ю и т.д., то есть в направлении возрастания индекса  $i$ , а обратных перетоков не происходит. Понятно, что на самом деле миграция рабочей силы имеет в определенной мере хаотический, случайный характер и может быть разнонаправленной, однако здесь речь идет только о равнодействующей этого сложного процесса. Но если структурная эволюция общественных производительных сил имеет столь ярко выраженный однонаправленный характер, то должна существовать достаточно *фундаментальная причина* этого эффекта, то есть должен быть определенный *постоянно действующий* фактор, обуславливающий такую однонаправленность. Попытаемся выяснить природу этого фактора и дать ему количественную оценку, хотя бы весьма упрощенную и обобщенную.

Однако прежде чем непосредственно приступить к определению такой оценки, зададимся более общим вопросом сугубо мировоззренческого плана: каким образом на протяжении тысячелетий человеческой истории могла сформироваться такая гармоничная последовательность изменения доминант разных производственных сфер, которую демонстрирует нам эмпирический опыт? Безусловно, исторический анализ В.Хмелько, кратко изложенный в предыдущем разделе, проясняет непосредственные причины ее формирования, но если взять всю картину в целом, нельзя не отметить ее поразительную, так сказать, “рационалистическую целенаправленность”, в которой можно усматривать даже некую загадку.

Вполне понятно, однако, что если не брать во внимание “Божий промысел”, то рационалистическая телеологичность эволюции окажется не более чем фантомным плодом воображения. В сущности, это касается не только исследуемого процесса, но и вообще любых эволюционных процессов. Так, скажем, когда мы наблюдаем рациональную целесообразность и сбалансированность взаимодействия растительных и животных популяций в границах единой экосистемы или удивительную адаптационную состоятельность отдельного живого организма, нам трудно избавиться от мысли, что эта рациональная целесообразность “кем-то запрограммирована”. Хотя мы и знаем (по Дарвину), что это лишь результат естественного отбора, то есть выживание всего “рационального” и “целесообразного” и вымирание “нерационального” и “нецелесообразного” (или в недостаточной мере такового). Современный научный язык определил процессы такого рода как процессы *самоорганизации*, или процессы возникновения “порядка из хаоса” [14].



Именно так, по нашему мнению, то есть путем самоорганизации происходит процесс структурной эволюции общественных производительных сил. Конечно, социальные процессы не могут не отличаться от процессов биологической эволюции, уже хотя бы потому, что субъектами элементарных событий, которые происходят на “низовом” уровне этих процессов, являются люди, то есть мыслящие существа. История знает немало попыток направить социальные процессы в отдельных обществах по предопределенному доктринальному плану. Неутешительные результаты таких попыток общеизвестны, однако главный их признак, считаем, состоит в том, что они вносили лишь легчайшие флуктуации в общеисторический эволюционный процесс и при рассмотрении эволюции в макроисторическом масштабе остаются незаметными. Таким образом, между процессами биологической и социальной эволюции существует, очевидно, больше аналогий, чем расхождений.

Исходя из гипотезы о самоорганизационном характере социальной эволюции и из указанной аналогии, приходим к выводу, что фундаментальным фактором, обуславливающим ту или иную структуризацию производительных сил общества, является естественное стремление общества, человечества в целом к выживанию и процветанию, а критерием “естественного” отбора изменений, которые происходят в структуре общественного производства, следует признать его общую эффективность. Это означает, что те изменения в структуре распределения общественных трудовых ресурсов, которые способствуют возрастанию эффективности общественного производства, поддерживаются обществом и “выживают”, а те изменения, которые действуют в противоположном направлении, наоборот, подавляются и гибнут. При этом не имеет принципиального значения, осознает ли общество (или его отдельные представители) свое стремление к повышению эффективности производства или это стремление действует неосознанно: конечный результат несущественно зависит от этого.

Попытаемся теперь оценить общественную эффективность труда в каждой с выделенных ранее производственных сфер. Логично предположить, что такой оценкой может быть отношение суммы средств потребления (то есть материальных и духовных благ), получаемых работником за свой труд, к израсходованному им рабочему времени:

$$e_i = \frac{M(t)}{\tau_i} = \frac{\sum_{j=1}^n \alpha_j(t) \cdot m_j(t)}{\tau_i}. \quad (1)$$

Здесь  $M(t)$  — это средняя (усредненная по всему обществу) общественно принятая годовая норма средств потребления, необходимых для поддержания нормального (для данного общества и на данный момент исторического времени  $t$ ) существования как самого работника, так и всех нетрудоспособных членов семьи, которые находятся на его содержании;  $m_j(t)$  — продукт  $j$ -й сферы, производимый одним (средним) работающим за год;  $\alpha_j(t)$  — коэффициенты, определяющие часть  $j$ -го продукта в общей средней норме потребления ( $0 < \alpha_j < 1$ );  $n$  — общее количество выделенных производственных сфер (в нашем случае  $n = 5$ );  $\tau_i$  — суммарное рабочее время, израсходованное работником за год в  $i$ -й производственной сфере;  $e_i$  — оценка производительности труда в  $i$ -й сфере.

Вполне понятно, что величины  $m_i$  и  $\alpha_i$  являются функциями времени и с течением исторического времени должны изменяться весьма существенно. Скажем, в начале становления предпосылок социогенезиса, когда общественное распределение труда практически отсутствовало, очевидно, что  $\alpha_1 \approx 1$ ,  $m_1 \approx M$ , а при всех значениях индекса  $i > 1$  величины  $\alpha_i$  и  $m_i$  почти не отличаются от нуля. Однако с течением времени они возрастают, яркой иллюстрацией чего служит структура потребления сегодняшних развитых обществ.

Поскольку коэффициенты  $\alpha_i$  по определению являются безразмерными, то формула (1), по всей видимости, предполагает существование универсальной единицы измерения для продуктов  $m_i$  всех производственных сфер. В наше время такой общей единицей служат деньги как универсальный эквивалент любого товара, но деньги, как и товарное производство в сегодняшнем его понимании, появились относительно недавно, ранее их просто не существовало. Это, однако, ничего не меняет в структуре формулы (1), поскольку она имеет содержательный смысл лишь для того исторического времени, когда возникает (хотя бы начальное) разделение труда, а вместе с ним с необходимостью появляется и обмен его продуктами. Обмен, в свою очередь, требует появления определенного эквивалента, который может изменяться со временем (мех, скот, мера зерна и т. п.), но обязательно будет существовать. Поскольку же характер этого эквивалента никак не влияет на структуру формулы (1), то он нас в дальнейшем не будет интересовать.

Формулу (1) можно представить также в другом виде, если умножить ее числитель и знаменатель на среднюю продолжительность трудоспособного возраста человека  $L$ :

$$e_i = \frac{M(t)L}{\tau_i L} = \frac{M(t)L}{T_i}. \quad (2)$$

Здесь  $ML$  — это суммарное количество средств потребления, заработанных работником за всю жизнь, а  $T_i = \tau_i L$  — пожизненные затраты рабочего времени.

Недостаток формул (1) и (2) состоит в том, что в их числителе стоит функция  $M(t)$ , которая очень сильно возрастает с течением исторического времени в связи со стремительным ростом потребностей человека. Поэтому оценку общественной эффективности труда в  $i$ -й производственной сфере целесообразно связать не с нормой потребления  $M(t)$ , а с ее отношением к общественно принятым средним годовым потребностям  $P(t)$ . Тогда, разделив левую и правую части формулы (2) на  $P(t)L$  ( $PL$  — это, соответственно, пожизненные потребности работника), вместо производительности труда  $e_i$  получим более удобную оценку эффективности:

$$c_i = \frac{e_i}{P(t)L} = \frac{M(t)L}{P(t)L} \cdot \frac{1}{T_i} = \frac{M(t)}{P(t)} \cdot \frac{1}{T_i}, \quad (3)$$

где сомножитель  $M/P$  можно трактовать как меру удовлетворения актуальных потребностей работника. Очевидно, что  $M/P = 1$ , если эти потребности удовлетворяются полностью;  $M/P > 1$ , если они удовлетворяются с избытком, и наконец,  $M/P < 1$ , если потребности удовлетворяются частично.

Вполне очевидно также, что наиболее вероятное значение отношения  $M/P$  не может сильно отклоняться от единицы. Действительно, любое от-

клонение этой функции от единицы в ту или иную сторону неминуемо вызывает появление положительных или отрицательных стимулов к изменению объема производства, и система, таким образом, автоматически стабилизируется в окрестности *равновесного состояния*  $M/P = 1$ . Это означает, что первый сомножитель правой части формулы (3) можно отбросить как несущественный. Тогда

$$c_i = \frac{1}{T_i}, \quad (4)$$

то есть оценкой эффективности труда в  $i$ -й сфере можно считать величину, обратную пожизненным затратам времени  $T_i$  одного среднего работника, необходимым ему для того, чтобы заработать на среднюю общественно принятую норму потребления  $M(t)L$ .

Величина  $T_i = \tau_i L$ , безусловно, тоже изменяется в течение исторического времени. При этом  $\tau_i$  с течением времени уменьшается, а  $L$ , наоборот, возрастает. Поэтому в первом, конечно же, очень грубом приближении произведение этих величин мы в дальнейшей будем считать константой ( $T_i \approx \text{const}$ ), что можно представить как среднее значение функции  $T_i(t)$ , взятое по всей временной оси. Благодаря этому допущению оценка  $c_i$  эффективности труда, которую мы в дальнейшем будем называть *потенциалом развития  $i$ -й производственной сферы*, предельно упрощается и превращается в константу, что дает возможность построить достаточно простую математическую модель.

Исходя из упомянутой аналогии между биологическими и социальными эволюционными процессами, для построения такой модели воспользуемся достаточно известной методологией математического моделирования так называемых “живых” систем. Спецификой таких систем является, во-первых, стремление любого “живого” субъекта к выживанию и саморазвитию, что математически формализуется положительной (“биологической”) обратной связью субъекта в отношении самого себя, и, во-вторых, активное взаимодействие субъекта с окружающей средой, которое нередко препятствует его саморазвитию и ущемляет его. В силу этого известные математические модели “живых” систем имеют такой общий вид:

$$x = x\varphi(x). \quad (5)$$

Здесь  $x = x(t)$  — уровень исследуемого процесса, скажем, численность популяции;  $x = dx / dt$  — скорость процесса (первая производная);  $\varphi(x)$  — функция ограничения, моделирующего влияние среды [14–16].

Именно такова структура широкоизвестных моделей “живых” систем: 1) модель самовоспроизводства популяции в условиях ограничения жизненных ресурсов, или так называемое логистическое уравнение [14, с.253–257; см. также: 15, с.465; 17, с.184–187]; 2) модель взаимодействия популяций “хищник — жертва”, или уравнение Лотки–Вольтерры [15, с. 172; 16, с. 67; 17, с. 135–139]; 3) система Фишера–Эйгена [18]; 4) экологические модели Мэя [19] и др.

Два сомножителя в правой части дифференциального уравнения (5) отражают две только что отмеченные нами особенности “живых” систем: первый отображает положительную обратную связь, которая в современной науке (в частности, в молекулярной биологии) считается собственно

основой жизни как таковой [14, с.20], а второй — влияние окружения, или конкурентную борьбу за доступ к ограниченным средствам существования (ресурсов).

В более общем случае, когда рассматривается система из  $n$  конкурирующих субъектов, уравнение (5) превращается в  $n$ -мерную систему дифференциальных уравнений

$$x_i / x_i = \varphi(x_i, \dots, x_n), \quad i = 1, \dots, n. \quad (6)$$

Такая запись означает, что темп эволюции  $i$ -го процесса (то есть скорость процесса, отнесенная к его уровню) определяется влиянием окружающей среды. Положительное окружение способствует возрастанию темпов процесса ( $x_i > 0$ ), отрицательное — порождает спад ( $x_i < 0$ ).

Таким образом, построение математической модели эволюции любой “живой” системы сводится к конструированию функции (или функций) ограничения, то есть к моделированию конкурирующей среды. В нашем случае, если рассматривается эволюция  $i$ -й производственной сферы, конкурентами (по поводу трудовых ресурсов) выступают остальные  $n - 1$  сферы. Для учета их конкурирующего влияния введем понятие *средне-эволюционного потенциала развития*  $c(t)$ . Это результат усреднения потенциалов (4) всех сфер общественного производства с учетом удельного веса каждой сферы:

$$c(t) = \sum_{i=1}^n c_i x_i(t). \quad (7)$$

Здесь  $x_i(t)$  — относительная (то есть в долях единицы) часть совокупных трудовых ресурсов общества, приходящаяся на  $i$ -ую производственную сферу (это, собственно, ординаты графиков рис. 1, 2).

Логично предположить, что именно разность потенциалов

$$\varphi_i(t) = c_i - c(t), \quad i = 1, \dots, n \quad (8)$$

характеризует влияние среды на эволюцию  $i$ -й сферы. Тогда из (6) — (8) получим систему нелинейных дифференциальных уравнений [20; 21]

$$x_i / x_i = c_i - c(t) = \sum_{j=1}^n (c_i - c_j) x_j, \quad i = 1, \dots, n, \quad (9)$$

которая, собственно, и призвана моделировать структурную эволюцию производителей сил.

Система (9) имеет первый интеграл

$$\sum_{i=1}^n x_i(t) = 1. \quad (10)$$

С содержательной точки зрения эту сумму можно интерпретировать как “закон сохранения” в “живых” системах, а с эволюционных позиций — это условие конкуренции, или (по М.Эйгену) “константа общей организации” [22].

Известно, что для нелинейных дифференциальных уравнений не часто удается отыскать общее аналитическое решение, но оказывается, что для системы (9) это можно сделать, и мы далее кратко покажем, как именно это делается.

Из (9) следует, что разность темпов эволюции  $i$ -й и  $k$ -й сфер равна разности их потенциалов развития

$$x_i / x_i - x_k / x_k = c_i - c_k. \quad (11)$$

Если ввести условное обозначение

$$y_{ik} = x_i / x_k, \quad (12)$$

то из (11), (12) получим линейное дифференциальное уравнение

$$y_{ik} = y_{ik} (c_i - c_k), \quad (13)$$

общее решение которого несложно найти [23]. Это решение и условие (10) дают возможность получить общее решение системы (9) в таком аналитическом виде:

$$x_i(t) = \frac{x_i(t_0)}{\sum_{j=1}^n x_j(t_0) \exp[(c_j - c_i)(t - t_0)]}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (14)$$

Здесь  $t_0$  — любой фиксированный момент времени на оси  $t$ , а  $x_i(t_0)$  — так называемые “начальные условия”, то есть значение ординат  $i$ -го процесса в момент  $t = t_0$ .

Найдя решение (14), мы не только завершаем построение математической модели исследуемого процесса, но и существенно упрощаем ее практическое использование, исключая необходимость численного интегрирования системы нелинейных дифференциальных уравнений (9).

### 3. Некоторые результаты предварительных исследований математической модели (9)

**3.1. Идентификация параметров математической модели.** Математическая модель (9) и формулы (14) содержат  $n$  априорно неизвестных параметров  $c_i$ , поэтому для выполнения числовых расчетов (модельных экспериментов) этим параметрам нужно придать конкретные числовые значения. Этого можно достичь, по крайней мере, двумя способами: 1) исходя из содержательной интерпретации параметров  $c_i$ , их можно вычислить по данным статистики; 2) отождествив эмпирически известную нам предысторию эволюционного процесса из решения (14) системы дифференциальных уравнений (9), попытаться таким образом обнаружить неизвестные параметры.

Этот второй путь относится к так называемым обратным задачам теории дифференциальных уравнений и в математическом моделировании получил название идентификации параметров модели [24]. Им пользуются, когда неизвестные параметры не имеют точной содержательной интерпретации и носят феноменологический характер. Именно вторым путем мы далее и воспользуемся, поскольку отдаем себе отчет, что содержательная интерпретация, данная нами параметрам  $c_i$  в предыдущем разделе статьи, имеет в значительной мере гипотетический характер.

Рассмотрим точки пересечения  $i$ -го и  $k$ -го графиков на рис. 1, которые мы назовем паритетными точками. Ясно, что в этих точках

$$x_i(t_{ik}) = x_k(t_{ik}), \quad (15)$$

где  $t_{ik}$  — момент времени, в который пересекаются графики  $i$ -го и  $k$ -го процессов (рис. 1), или абсцисса паритетной точки.

Из (14), (15) нетрудно получить формулу

$$c_i - c_k = \left[ \ln \frac{x_k(t_0)}{x_i(t_0)} \right] / (t_{ik} - t_0). \quad (16)$$

Заметим, чтобы найти параметры  $c_i$ , можно применить различные способы, в частности, для этого не обязательно использовать информацию собственно о паритетных точках. Скажем, если нам хорошо известны значения любых двух процессов  $x_i$  и  $x_k$  для двух (произвольных) моментов времени  $t_0$  и  $t_1$ , то можно воспользоваться формулой

$$c_i - c_k = \left[ \ln \frac{x_k(t_0)x_i(t_1)}{x_i(t_0)x_k(t_1)} \right] / (t_1 - t_0), \quad (17)$$

приводимой здесь без обоснования.

Как видно из уравнений (9) и их решения (14), уровни процессов  $x_i(t)$  определяются разностями потенциалов развития  $c_i$ , а не их абсолютными величинами. Именно поэтому, разумеется, и идентификационные формулы (16) и (17) тоже имеют соответствующий специфический вид. С точки зрения “чистой” математики это означает, что один из  $n$  неизвестных параметров  $c_i$  мы имеем право задать совершенно произвольно. Отсюда непосредственно следует, что и в деле содержательной интерпретации параметров модели исследователь тоже имеет определенную свободу: одну из возможных интерпретаций мы предлагаем здесь, кто-то другой может предложить иную. Но как только мы выбрали какую-либо конкретную интерпретацию и на этом основании предложили числовое значение одного из параметров модели, мы сразу же теряем эту свободу, поскольку числовые значения остальных неизвестных параметров однозначно вычисляются по формулам (16) или (17). Сравнивая результаты этих расчетов с теми числами, которые следуют из предложенной содержательной интерпретации, мы можем верифицировать принятую интерпретационную гипотезу.

**3.2. Модельные расчеты (эксперименты).** Для выполнения расчетов эволюционных процессов  $x_i(t)$  по формуле (14) нам нужно зафиксировать “начальные условия” для произвольного момента времени  $t_0$  и определить разности потенциалов развития  $c_i - c_j$  по формулам (16) или (17). Выдвижение той или иной интерпретационной гипотезы и определение на ее основе одного из параметров  $c_i$ , о чем шла речь выше, для этого, в сущности, излишни.

Расхождения между результатами таких расчетов (рис. 3) и имеющимися эмпирическими данными (рис. 2) оказались, по нашему мнению, незначительными, в особенности учитывая чрезвычайную простоту и несовершенство примененной процедуры идентификации и, в конечном счете, простоту самой математической модели.

**3.3. Верификация интерпретационной гипотезы,** хотя она не нужна для выполнения модельных расчетов, вместе с тем, дает возможность сделать некоторые дополнительные интересные выводы. Из конкретных значений вычисленных нами разностей потенциалов развития следует существование таких систем неравенств [21, с.66]:

$$c_1 < c_2 < c_3 < c_4 < c_5; T_1 > T_2 > T_3 > T_4 > T_5. \quad (18)$$

Это указывает на определенную временную направленность процесса структурной эволюции производительных сил в направлении возрастания потенциала развития, то есть сокращения средних пожизненных затрат рабочего времени  $T_i$ , необходимых для воспроизводства жизни. В предельном случае, когда  $T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = T_5$ , временные изменения в системе прекращаются — наступает “застой”:  $x_i = \text{const}$ . Воспользовавшись своим правом на произвольное определение одного из параметров модели, оценим примерно величину  $T_3$  (индустриальная сфера) в 20 лет. Тогда получим последовательность:  $T_1 = 32, T_2 = 31, T_3 = 20, T_4 = 15$  и  $T_5 = 12$  лет, отвечающую координатам паритетных точек.

Полученные числовые оценки (насколько бы приблизительными они ни были) представляются нам достаточно вероятными. Они показывают, что величина  $T_i$  не превышает средней продолжительности жизни человека, хотя “в начале” эволюции, учитывая достаточно короткую продолжительность жизни в те времена, эти величины практически равны между собой. Незначительная разность между  $T_1$  и  $T_2$  (или между  $c_1$  и  $c_2$ ) указывает, по всей видимости, на очень низкий уровень агрокультуры в начале аграрной эры, а также объясняет, почему период активной конкуренции между 1-й и 2-й сферами общественного производства продолжался так долго (рис. 1, 2). С началом индустриальной эры ситуация стремительно изменяется к лучшему, и величина  $T_i$  начинает быстро отставать от средней продолжительности жизни, что можно рассматривать как важнейший показатель социального прогресса человечества. Но следует подчеркнуть, что за несколько тысячелетий величина  $T_i$  уменьшилась всего вдвое.

Кстати, понятие прогресса как такового, учитывая сопутствующие ему неминуемые потери, вызывает сегодня немалый скепсис. Поэтому мы рады признать, что выводы, которые можно сделать из предложенной модели и ее исследования, позволяют это понятие реабилитировать, по крайней мере отчасти. Заметим попутно, что известный биолог М.Тимофеев-Ресовский предлагал научному сообществу обсудить возможность введения в научный дискурс теоретической биологии третьего общебиологического естественноисторического принципа *прогрессивной эволюции* (наряду с такими фундаментальными основами биологии, как принципы естественного отбора и ковариантной редупликации) [25].

**3.4. Анализ устойчивости стационарных состояний модели.** Математическая модель (9) относится к классу автономных динамических систем [26]. Далее мы попытаемся на качественном уровне оценить общие тенденции ее эволюции через исследование стационарных состояний и их устойчивости.

Стационарным состоянием динамической системы называют такое ее состояние, в котором она при отсутствии внешних возмущений может находиться сколько угодно долго. Стационарное состояние называется устойчивым, если небольшие отклонения от него, вызванные разовыми внешними возмущениями, с течением времени не возрастают или, по крайней мере, остаются ограниченными. В противном случае стационарное состояние называют неустойчивым. В конце концов, если начальные отклонения не только не возрастают, а, наоборот, уменьшаются с течением времени и

при  $t \rightarrow \infty$  совсем исчезают, то стационарное состояние называют асимптотически устойчивым.

Для того чтобы определить все возможные стационарные состояния системы (9), нужно приравнять к нулю ее правые части и найти решения полученной таким образом системы нелинейных уравнений. Опуская эту несложную, но кропотливую процедуру, отметим, что система (9) имеет  $n$  стационарных состояний “монопольного” типа, когда доля одной из производственных сфер  $x_i = 1$ , а доли остальных сфер равняются нулю. Обратившись далее к первой теореме Ляпунова об устойчивости [27], приходим к выводу, что процессы в системе (9) имеют аperiодический, неколебательный характер (что полностью отвечает их реальной эмпирически известной нам предыстории), а все ее стационарные состояния, кроме “конечного” ( $x_n = 1, x_1 \dots = x_{n-1} = 0$ ) являются неустойчивыми. “Конечное” же состояние, наоборот, является асимптотически устойчивым, и это, по определению, означает, что система движется к нему при любых начальных условиях.

Упоминание о “любых” начальных условиях требует некоторых комментариев. На первый взгляд может показаться, что никакой неопределенности относительно начальных условий исследуемых эволюционных процессов быть не может, поскольку они нам исторически заданы: структурная эволюция производительных сил началась в небольшой окрестности 1-й (“начальной”) неустойчивой стационарной точки ( $x_1 = 1$  при  $t \rightarrow -\infty$ ) и с той давней поры длится уже много тысячелетий (рис. 1, 2). Это — исторический факт, и как таковой никаким изменениям не подлежит. Однако в целом, говоря о “начальных условиях”, мы связываем их не с “началом” эволюции, а с состоянием системы в произвольный момент времени  $t_0$ . Изменение начальных условий, то есть изменение состояния системы в момент  $t_0$  может произойти под влиянием каких-то внезапных внешних возбуждений, резко нарушающих естественный ход эволюционных процессов. Это могут быть мировые войны, глобальные экологические или природные катастрофы и т. п. Тем-то и интересны, по нашему мнению, результаты исследования устойчивости модели (9), что они дают основания сделать вывод: никакие внешние возбуждения, если только они не разрушают всю систему, то есть если человечество избегнет самоуничтожения путем мировой термоядерной войны или чего-то иного в том же роде, не могут коренным образом изменить главной тенденции структурной эволюции производительных сил. Она все равно будет следовать к своему “конечному” стационарному состоянию ( $x_n = 1$ ), так как иных устойчивых стационарных точек у исследуемой системы не существует.

Наконец, попытаемся несколько прояснить феномен существования неустойчивых стационарных состояний. Представим себе, что в “начале” эволюции система находится в стационарной точке ( $x_1 = 1$ ). По определению, она может находиться в таком состоянии как угодно долго, но при непременном условии относительно полного отсутствия внешних возбуждений, чего, безусловно, в природе не бывает. Таким “первым” возбуждением могло быть открытие первобытным человеком того, что брошенное в землю зерно прорастает или же приручение первого полезного животного. Такое возбуждение “сталкивает” систему с неустойчивой стационарной точки, и процесс эволюции начинается по своему (динамическому) закону. В соответствии с ними система, в которой процесс эволюции начался, уже



никогда не попадет в иные неустойчивые стационарные точки, а, минуя их, будет следовать к точке асимптотически устойчивой.

Таким образом, исследование стационарных состояний динамической системы и их устойчивости дает возможность выявить главные тенденции поведения системы на качественном уровне без расчетов решений системы дифференциальных уравнений. Именно поэтому исследование устойчивости составляет один из самых фундаментальных этапов математического моделирования любых динамических (эволюционно изменяющихся) систем.

#### 4. Несколько заключительных замечаний

**4.1. Можно ли сочетать простоту модели с точностью?** О том, что простота и прогностическая состоятельность модели и ее точность являются противоречивыми требованиями, мы уже упоминали в начале статьи. Однако нельзя ли как-нибудь обойти это противоречие и, не теряя простоты модели, повысить точность ее прогнозов? В определенной степени это возможно, и далее мы кратко покажем, каким образом.

Когда мы применяем процедуру идентификации параметров модели в выбранной нами временной точке  $t_0$ , то по крайней мере в этой точке модель точно совпадает с эмпирической действительностью. Это дает нам право надеяться (конечно, если мы достаточно удачно построили модель и она воссоздает хотя бы общие тенденции эволюции реального процесса), что и в определенной окрестности этой точки ошибки модели не будут чрезмерно большими. Отсюда — общее правило: чем больше в ходе модельных экспериментов мы отдаляемся вдоль временной оси от точки идентификации, тем большими становятся ошибки модели. Справиться с этой бедой довольно просто: через определенные отрезки времени процедуру идентификации нужно применять повторно. Этим, кстати, можно компенсировать и отрицательное влияние на точность модели нашего весьма грубого допущения насчет того, что потенциалы развития  $c_i$  есть константами. Именно так, с использованием формулы (17) и величины  $t_0=19$  (начало XX столетия), построен рис. 3.

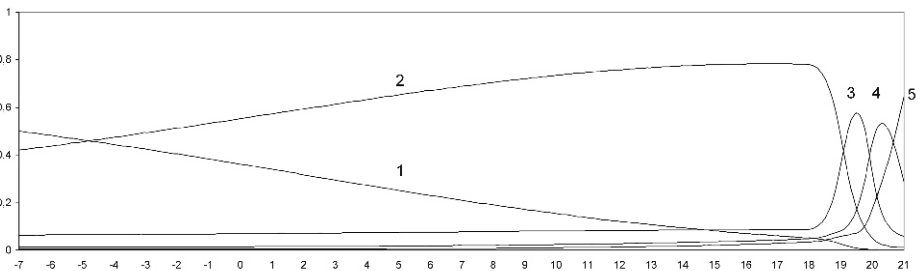


Рис. 3. Результаты модельных расчетов структурной эволюции производительных сил (масштаб времени — столетия)

**4.2. Существуют ли “законы истории”?** Один из наиболее известных социальных философов нашего столетия К.Поппер полагал, что “будущее зависит от нас самих, а мы независимы от любой исторической необходимости” [28]. С этих позиций он, как мы знаем, подвергал жестокой критике так называемый “историцизм”, пытающийся “постичь законы историче-

ского развития” [28, с. 21]. “Историцизму” К.Поппер противопоставлял “социальную инженерию частичных (piecemeal) решений”, согласно которой, по его мнению, в действительности развивается общество. Это, собственно, означает, что он стоял на позициях общественной самоорганизации, хотя данного понятия тогда еще не было в широком научном обороте. Кстати, Ф.Хайек — единомышленник и последователь К.Поппера — этим понятием уже пользуется и даже ссылается при этом на работы И.Пригожина — одного из самых выдающихся основателей науки о самоорганизации [29].

Критикуя “историцизм” вообще, К.Поппер отрицает, в сущности, принципиальную возможность существования любой жесткой последовательности исторических событий, которая имела бы научное обоснование. Однако концептуальная модель В.Хмелько именно такую последовательность нам демонстрирует, причем большая часть этой последовательности имеет не прогностический характер, а основывается на историческом опыте, то есть на твердо установленных фактах. Поскольку В.Хмелько тоже, по нашему мнению, стоит на позициях самоорганизации, то не сталкиваемся ли мы здесь с некой неразрешимой антиномией?

По нашему мнению, — нет. К.Поппер писал свою известнейшую работу об открытом обществе во время Второй мировой войны, когда науки о самоорганизации не существовало даже в зародыше. Отсюда, пожалуй, и несколько преувеличенная категоричность его позиции. Сегодня же, благодаря работам И.Пригожина и его школы, мы знаем, что процесс самоорганизации, если в ходе его не возникает препятствий, всегда обуславливает формирование определенной пространственно-временной структуры (по И.Пригожину — диссипативная структура). Именно такую временную структуру (пространство исчезает благодаря интегрированию по всему пространству) и демонстрируют рис. 1–3 (подробнее о современном толковании взглядов К.Поппера см. цитированную выше работу [10]).

**4.3. “Конец истории?”** Этот провокативный вопрос впервые широко “озвучил” Ф.Фукуяма, и хотя позднее сам автор почти отрекся от своих несколько поспешных и недостаточно обоснованных выводов, в контексте этой статьи вопрос остается актуальным. Собственно говоря, в этом контексте речь идет не об истории вообще, а лишь о ее “производственной” составляющей, то есть об истории (эволюции) структуры общественных производительных сил. Построенная нами модель якобы действительно прогнозирует в перспективе “конец” этой истории, поскольку система неуклонно следует к своему асимптотически устойчивому состоянию с почти монопольным доминированием 5-й производственной сферы.

Встает закономерный вопрос: что дальше? Неужели и в самом деле эволюция имеет “конец”, после которого никаких изменений уже не будет происходить? Предложенная здесь модель ответа на этот вопрос дать не может, поскольку, как мы уже неоднократно отмечали, в той или иной мере доверять ее прогнозам мы имеем право только в определенной окрестности твердо установленных исторических фактов. С сугубо мировоззренческой точки зрения, памятуя о том, что уже в античные времена люди осознали, что “все течет и все изменяется”, мы можем ответить на этот вопрос вопросом того же Ф.Фукуямы: “Может, перспектива многовековой скуки заставит историю взять еще один, новый старт?” [30].

## Литература

1. *Юрженко Л.* Можливості математичного моделювання в прогнозуванні розвитку культури // Соціологія: теорія, методи, маркетинг. — 1998 — № 4/5. — С.187.
2. *Форрестер Дж.* Мировая динамика.— М., 1978.
3. *Хмелько В.* Виробничі відносини і суспільне виробництво життя // Вісник Київського університету. Сер. Філософія. —1973. — № 7.
4. *Хмелько В.* Содержание и структура производственных отношений как предмет общесоциологического исследования : Автореф. дисс. ... канд. филос. наук. — К., 1976.
5. *Хмелько В., Косолапов В.* Производство — основа социально-экономического прогресса общества // Социально-политические проблемы НТР и идеологическая борьба. — К., 1978.
6. *Хмелько В.* Общественное производство жизни: структура процессов и ее динамика // Производство как общественный процесс: актуальные проблемы теории и практики. — М., 1986.
7. *Хмелько В.* Общественное производство жизни: структура процессов и ее динамика // Общественные науки. — 1987. — № 2.
8. *Хмелько В.* Концептуальная модель структуры и динамики макропроцессов общественного производства жизни // Математическое моделирование социальных процессов. — М., 1989.
9. *Паниотто В., Закревская Л., Черноволенко А. и др.* Опыт моделирования социальных процессов (вопросы методологии и методики построения моделей) / Отв. ред. В.Паниотто.— К., 1989. — С.174.
10. *Свідзинський А.* Чи існують закони історії? // Сучасність. — 1988. — № 2. — С.120.
11. *Пуанкаре А.* Наука и гипотеза // Анри Пуанкаре о науке. — М., 1990. — С.120–123.
12. Словник іншомовних слів / За ред. О.Мельничука. — К., 1975. — С.573.
13. *Пригожин И.* От существующего к возникающему. — М., 1985. — С.133–137.
14. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. — М., 1986.
15. *Николис Г., Пригожин И.* Самоорганизация в неравновесных системах. — М., 1979.
16. *Николис Г., Пригожин И.* Познание сложного. —М., 1990.
17. *Марри Дж.* Нелинейные дифференциальные уравнения в биологии. Лекции о моделях. — М., 1983. — С.184–187.
18. *Файстел Р., Эбелинг В.* Стохастические модели эволюционных процессов // Термодинамика и регуляция биологических процессов. — М., 1984. — С.260.
19. *May R.* Model Ecosystems. — Princeton, 1973.
20. *Повещенко Г., Чеховий Ю.* Про модель еволюції продуктивних сил суспільства // I Українська конференція з автоматичного керування “Автоматика-94”. — К., 1994. — С.312.
21. *Повещенко Г., Чеховий Ю.* Моделювання динаміки суспільних процесів // Сучасні інформаційні технології та системний аналіз — шлях до інформаційного суспільства. — К., 1998. — С.63–70.
22. *Исида К.* Неравновесная термодинамика гиперциклов // Термодинамика и регуляция биологических процессов. — М., 1984. — С.238.
23. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике. — М., 1968. — С.268.
24. *Неймарк Ю., Коган Н., Савельев В.* Динамические модели теории управления. — М., 1985. — С.289.
25. *Тимофеев-Ресовский Н.* Генетика, эволюция и теоретическая биология // Кибернетика живого. Биология и информация. — М., 1984. — С.18–24.
26. *Андронов А., Леонтович Е., Гордон И., Майер А.* Качественная теория динамических систем. — М., 1966.
27. *Петровский И.* Лекции по теории обыкновенных дифференциальных уравнений. — М.; Л., 1952. — С.191–192.
28. *Поттер К.* Відкрите суспільство та його вороги. — К., 1994. — Т.1. — С.15.
29. *Хайек Ф.А.* Пагубная самонадеянность. Ошибки социализма. — М., 1992.
30. *Фукуяма Ф.* Конец истории? // Вопросы философии. — 1990. — № 3. — С.148.