

УДК 338.124.4

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КАТАСТРОФ МИРОВОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Ярош О.Б.

*Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь, Украина
E-mail: yaroshome@mail.ru*

В статье построена динамическая модель катастроф мирового социально-экономического развития. В систему уравнений включены данные двух переменных: народонаселения и ВВП. Показано, что кризисы выступают в роли самоорганизующего фактора задерживающего глобальное развитие в два раза, проявляющееся с определенной цикличностью на разных временных масштабах.

Ключевые слова: мировой кризис, социально-экономическое развитие, теория катастроф, синергетика, бифуркация.

ВВЕДЕНИЕ

С наступлением 21-го века становится очевидным, что состояние глобальной экосистемы приближается к критическому уровню. Предметом изучения экономики в наступившем тысячелетии должен стать анализ мира, для которого характерны социально-экономические и экологические кризисы. Анализ должен подвергаться система неустойчивостей, когда малые и локальные изменения влекут за собой глобальные последствия в различных сферах жизни общества и природы. Это обосновывает актуальность выбранной темы исследования.

В прошлом веке в работах Н.В. Тимофеева-Ресовского [1] было предложено рассмотреть, в каком направлении развивается жизнь на Земле в ракурсе физики и ее законов. Позже, в данном направлении, велись работы математиков Р. Тома [2] и В.И. Арнольда [3] по созданию математической теории катастроф. Таким образом, был создан новый подход, основанный на физико-математическом описании эволюции развития общества, который нашел свое отражение в работах И.Р. Пригожина [4] и предложенной им теории хаоса. На основе этих исследований для обозначения диссипативных структур Г. Хакеном [5] был предложен термин «синергетика». Было положено начало одноименной теории, круг применения которой вышел далеко за рамки физики и стал широко использоваться в других науках, в частности в экономике. В настоящее время этот междисциплинарный подход все шире используется в С.П. Капицей [6] и рядом других ученых в стратегическом планировании, в поиске путей решения глобальных проблем, вставших перед человечеством. В Украине подобные работы фрагментарны и находятся в стадии становления. Для проведения анализа в данной статье нами выбрана методология синергетики, которая основывается на теории самоорганизации и коэволюции сложных систем.

Цель данной статьи состоит в построении динамической модели катастроф глобального социально-экономического развития. Задачи, которые ставились перед нами, сведены к двум принципиальным позициям:

- провести моделирование некоторых компонентов мирового социально-экономического роста и выявить его пределы;

- рассчитать оценочные скорости глобального экономического роста и показать роль кризисов в них.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КАТАСТРОФ

В классических работах прошлого века было показано, что социально-экономическое развитие не может быть монотонно-возрастающим [7]. Рано или поздно наступают кризисные периоды в развитии экономики и общества. В этой связи, вопрос о причинах их появления остается открытым и дискуссионным. Возможно, если будет понятен механизм, который запускает эти явления, то и придет понимание, как можно этого избежать. Мы задались следующим вопросом: как долго может развиваться общество, пока не включатся естественные процессы его замедления либо не произойдет мгновенная остановка роста в виде коллапса. Для его решения рассмотрим упрощенную динамическую модель развития, основанную на нелинейных уравнениях. Данный анализ направлен на изучение массовых процессов обмена и перераспределения материальных ресурсов между элементами дискретных систем [8]. Пусть функция $F_1(t)$ описывает суммарное население, а функция $F_2(t)$ - совокупное потребление. Эти функции эволюционируют со временем согласно дифференциальным уравнениям

$$\left. \begin{aligned} \frac{dF_1}{dt} &= a_1 F_1 F_2 \\ \frac{dF_2}{dt} &= a_2 F_1 F_2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

с начальными условиями

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= F_{10} \\ F_2 &= F_{20} \end{aligned} \right\} \text{ при } t = t_0, \quad (2)$$

где t_0 - начальный момент времени.

Разделив нижнее уравнение (1) на верхнее, получим дифференциальное уравнение без учета фактора времени:

$$\frac{dF_2}{dF_1} = \frac{a_2}{a_1}. \quad (3)$$

Интегрирование (3) с начальным условием (2) имеет вид:

$$\frac{1}{1 - \frac{a_1 F_{20}}{a_1 F_{10}}} * \ln \frac{(a_1 F_{20} - a_2 F_{10} + a_2 F_1) F_{10}}{a_1 F_{20} F_1} = a_2 F_{10} (t - t_0). \quad (4)$$

Введем безразмерное время

$$\tau = a_2 F_{10} (t - t_0). \quad (5)$$

Выражение (4) преобразуем таким образом, чтобы получить F_1 в виде явной функции от времени:

$$F_1(t) = \frac{F_{10} \left(1 - \frac{a_2 F_{10}}{a_1 F_{20}} \right)}{\exp \left[\tau * \left(1 - \frac{a_1 F_{20}}{a_2 F_{10}} \right) \right] - \frac{a_2 F_{10}}{a_1 F_{20}}} \quad (6)$$

Аналогично

$$F_2(t) = \frac{F_{20} \left(1 + \frac{a_2 F_{10}}{a_1 F_{20}} \right) \left(1 - \exp \left[\tau * \left(1 - \frac{a_1 F_{20}}{a_2 F_{10}} \right) \right] \right)}{\exp \left[\tau * \left(1 - \frac{a_1 F_{20}}{a_2 F_{10}} \right) \right] - \frac{a_2 F_{10}}{a_1 F_{20}}} \quad (7)$$

при этом

$$a_1 F_{20} < a_2 F_{10} \quad (8)$$

Если условие (8) не выполняется, то в исходном уравнении (1) нужно поменять местами обозначения F_1 и F_2 . В этом случае F_1 окажется функцией, которая растет медленней, чем F_2 , и соотношение (8) будет оставаться выполнено.

Рассмотрим, как поведут себя функции $F_1(t)$ и $F_2(t)$ при более реалистичных условиях, показанных в уравнениях (1) и (2). Очевидно, что обе функции (6) и (7) обращаются в бесконечность, когда знаменатель обратится в ноль. Обозначим этот момент времени как τ_∞ . Тогда

$$\exp \left[\tau_\infty \left(1 - \frac{a_1 F_{20}}{a_2 F_{10}} \right) \right] = \frac{a_2 F_{10}}{a_1 F_{20}} \quad (9)$$

Прологарифмировав уравнение (9), получим

$$\tau_\infty \left(1 - \frac{a_1 F_{20}}{a_2 F_{10}} \right) = \ln \frac{a_2 F_{10}}{a_1 F_{20}} \quad (10)$$

Итак,

$$\tau_\infty = \frac{\ln \frac{a_2 F_{10}}{a_1 F_{20}}}{1 - \frac{a_1 F_{20}}{a_2 F_{10}}}, \quad (11)$$

которая при условии (8) всегда положительна и конечна. Именно в момент времени τ_∞ произойдет коллапс, потому что обе функции $F_1(t)$ и $F_2(t)$ устремятся к бесконечности. Что это означает? При ограниченных запасах ресурсов численность населения $F_2(t)$ и потребление $F_1(t)$ не может быть бесконечным. Это показывает, что в момент времени τ_∞ наступает почти мгновенная остановка безграничного роста функций $F_1(t)$ и $F_2(t)$, которая является сама по себе точкой

коллапса для Человечества, привыкшего к постоянному росту своей численности и своих потребностей. Проведем оценку времени, когда исследуемая система войдет в коллапс τ_{∞} . Исходя из безразмерного времени τ , получим формулу для реального времени, когда наступит конечная точка бифуркации² или коллапс дальнейшего развития функций $F_1(t)$ и $F_2(t)$.

$$t_{\infty} = t_0 + \frac{\tau_{\infty}}{a_2 F_{10}} = t_0 + \frac{\ln \frac{a_2 F_{10}}{a_1 F_{20}}}{1 - \frac{a_1 F_{20}}{a_2 F_{10}}} * \frac{1}{a_2 F_{10}} = t_0 + \frac{\ln \frac{a_2 F_{10}}{a_1 F_{20}}}{a_2 F_{10} - a_1 F_{20}} \quad (12)$$

2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА

Рассмотрим, как будут протекать данные процессы на глобальном уровне. Проведем анализ функции $F_1(t)$ - численности населения мира, которая аппроксимируется экспоненциальной функцией, а на протяжении последних 100 лет – вырождается в кривую гиперболического роста, изображенную на Рис. 1.

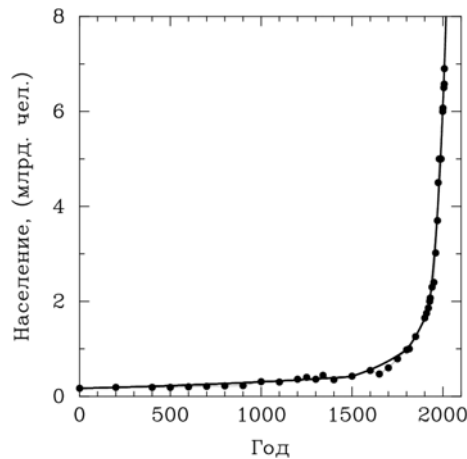


Рис. 1. Аппроксимация динамики численности населения мира.

Рассчитаем скорости роста согласно экспоненциальным зависимостям:

$$\Delta t_{F_1} = \frac{\ln 2}{b} \quad , \quad (13)$$

где b - константа, полученная в результате аппроксимации.

² Точка бифуркации — критическое состояние системы, при котором система становится неустойчивой относительно флуктуаций и возникает неопределенность: станет ли состояние системы хаотическим или она перейдет на новый, более дифференцированный и высокий уровень упорядоченности [5].

Таблица 1

Результаты экспоненциальной аппроксимации роста численности населения мира

Период времени, гг.	Скорость удвоения численности населения (Δt), лет	Результат экспоненциальной аппроксимации (b), год ⁻¹
0-1500	1675	$4,1 \cdot 10^{-4}$
1500-1800	250	$2,8 \cdot 10^{-3}$
1800-1927	136	$5,1 \cdot 10^{-2}$
1927-2009	46	$1,5 \cdot 10^{-2}$

Результаты наших расчетов показывают, что численность населения планеты удваивается каждые 46 лет. Данный эффект можно объяснить переходом экспоненциального роста в гиперболический [6]. Однако, он не может продолжаться долгое время в силу ограниченности ресурсов нашей планеты, из-за чего в данный процесс будут вовлечены внешние факторы, саморегулирующие рост человеческой популяции, которые переводят Человечество в фазу «демографического перехода», что подтверждается статистическими данными, используемыми в данной работе. Рост численности населения в развитых странах прекратился ещё в 70-е годы, так как были изменены целевые ориентиры общества.

С этого времени стали усиливаться, следующие тенденции:

- произошли смещения в роли женщины как бизнес-леди, что связано с повышением уровня образованности;
- более позднее вступление в брак;
- уход от традиционной ценности семьи, где большое количество детей;
- усиление контрацептивных возможностей населения и нежелание рожать детей;
- изменение соотношений между молодыми и пожилыми людьми;
- рост числа однополых браков.

Перечисленные признаки «демографического перехода» - внутреннего механизма человеческой популяции призванного сдерживать демографический рост [6]. Известно, что в современном мире рост населения идет за счет развивающихся стран. В настоящее время именно они определяют гиперболический характер увеличения численности населения. Однако, вскоре «демографический переход» начнется в этих странах. Это начнется с потери системной устойчивости в обществе [6]. Определяющим в этом случае будет показатель роста возмущений, так называемый показатель Ляпунова, который может быть обозначен как «флаг катастрофы». Он предупреждает о том, что очень скоро будут сильные перемены в траектории развития. Ляпуновский показатель показывает, что максимальная неустойчивость наступает для глобальной системы в момент начала демографического перехода. Этот период времени пришелся на 70-е годы. Эта потеря устойчивости связана с быстрым разрушением внутрисистемных механизмов развития. В случае с населением произошли значительные подвижки в

неформальных конструкциях западного общества, поменялись его целевые установки.

С самого начала Человечество вело себя как устойчивая саморегулирующаяся, но неравновесная система, в развитии которой огромную роль имеет неравномерность распределения богатств и природных ресурсов по странам мира. Рост населения определяется не граничными условиями, а ограничением скорости роста. Действительно, на протяжении всего исторического периода развития человечество располагало достаточными ресурсами, человек их осваивал, расселяясь по планете и увеличивая эффективность производства [6]. В случае недостаточности ресурсов, локальное развитие прекращалось, однако общий рост населения планеты оставался неизменным. Поэтому вопрос о влиянии ресурсов на социально-экономический рост должен рассматриваться как определяющий и он требует отдельного обсуждения.

Рассмотрим вторую функцию $F_2(t)$. В нее включим динамику потребления энергоресурсов в мире, в частности электричества, приведенной на Рис. 2. Этот выбор объясняется тем, что начиная с 1850 г., процесс декарбонизации энергетики ускоряется растущей потребностью в дешевой, чистой энергии. Это выражается в постоянном увеличении доли именно электричества и энергоносителей, богатых водородом. Исходя из этих соображений, нами в анализ был включен уровень потребления электричества.

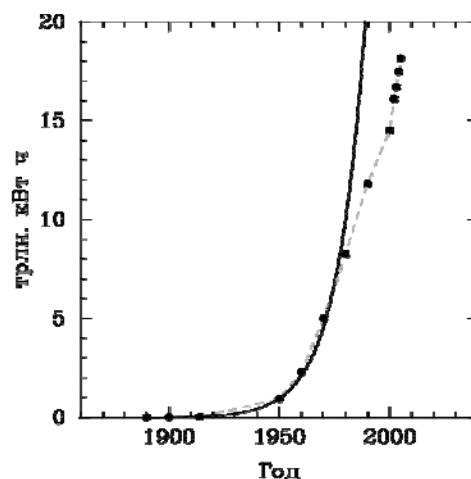


Рис. 2. Экспоненциальная аппроксимация динамики мирового энергопотребления.

Рассчитаем изменения в скоростях потребления электроэнергии в масштабах мира согласно экспоненциальной зависимости вида

$$\Delta t_{F_2} = \frac{\ln 2}{b} \quad (14),$$

Таблица 2

Результаты аппроксимации динамики производства электроэнергии в мире

Период времени (τ), гг.	Скорость удвоения (Δt), лет	Результат экспоненциальной аппроксимации (b), год ⁻¹
1890-1975	8,8	0,078
2000-2009	48	0,014

Видно, что экспоненциальный рост в масштабе мира шел 100 с лишним лет вплоть до 70-х годов, пока не наступил энергетический кризис, до него каждые 8,8 лет (Табл. 2) суммарное энергопотребление удваивалось. Роль данного кризиса очень велика, видно, что он отодвинул по временной шкале на 25 лет (Рис 2) динамику роста. После 2000 г скорость увеличения снизилась в пять раз.

2.1. Альтернативное моделирование

Проведем альтернативное моделирование ситуации³. Условие задается изменением начальных параметров, которые формулируются в виде вопроса: «что было бы, если бы»? Если сохраниться экспоненциальная скорость роста двух исследуемых нами функций $F_1(t)$ и $F_2(t)$, как быстро наступит конечный аттрактор⁴ или коллапс? Рассчитаем этот момент. Согласно статистическим данным суммарное население $F_1(t)$ последние десятилетия удваивается каждые 46 лет (Табл. 1), а суммарное энергопотребление $F_2(t)$ - каждые 48 лет (Табл. 2). Это означает, что оба показателя возрастают со временем по экспоненциальному закону. Получаем следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} a_1 F_{10} &= \frac{\ln 2}{t_{F_1}} = \frac{\ln 2}{46} = 0,051 \\ a_2 F_{20} &= \frac{\ln 2}{t_{F_2}} = \frac{\ln 2}{48} = 0,014 \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Из уравнения (15) показываем, что $\frac{a_1 F_{10}}{a_2 F_{20}} = 3,64$. Подставим эти данные в (12) и получаем (16):

³ Метод альтернативного моделирования или исторического ретропрогнозирования предполагает возможность сослагательного наклонения при исследовании цепи вероятностных событий, где переход от одного звена к другому происходит в результате сознательного или случайного выбора [9]. Данный подход применяется при клиометрических исследованиях, в рамках новой институциональной истории.

⁴ Аттрактор - представляет собой финальное состояние любой траектории в пространстве [4, с. 75].

$$(t_{\infty} - t_0)_A = \frac{\ln \frac{a_2 F_{10}}{a_1 F_{20}}}{-a_2 F_{10} + a_1 F_{20}} = \frac{\ln 3,64}{0,014 - 0,051} = \frac{1,29}{0,037} = 35 \text{ (лет)} \quad (16)$$

Из результатов альтернативного моделирования (А) следует, что если не будет никаких кризисов, которые повлияют на замедление роста, то при сохранении существующих скоростях энергопотребления и увеличения численности населения мира, существующая система экспоненциального развития рухнет через 35 лет. Если в качестве точки отсчета для нашей модели мы брали 2009 г, то получается, что всепланетарный коллапс по этим двум параметрам наступит в 2023 г.

Учитывая глобальную динамику исследуемых процессов, мы приходим к парадоксальному выводу о роли кризисов в социально-экономическом развитии общества. Они выступают в виде процессов, которые замедляют развитие в два раза.

Анализ характера глобального социально-экономического роста показывает, что равновесные состояния отнюдь не являются доминирующими в реальной ситуации. Поэтому широко известный подход «устойчивого развития» как отдельных государств, так и всей мировой социально-экономической системы не может быть реализован в виде организации монотонно возрастающего роста экономики. В действительности, необходимо исходить из того, что в сложных системах всегда имеют место неустойчивости, вызванные неоднородностями роста и развития.

3. СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ СИТУАЦИИ

Рассмотрим, в какой форме будет протекать коллапс функций (народонаселение) и (энергопотребление). Очевидно, что при приближении к точке конечного аттрактора τ_{∞} динамика неограниченного роста (4) потеряет устойчивость. В этом случае возможны два варианта развития ситуации.

Первый (пессимистический) сценарий. Система может впасть в стохастический, то есть неуправляемый и непрогнозируемый режим. Действительно, динамика развития общества содержит большую долю неопределенности и включает микропериоды хаотического поведения, но пока на малых временных промежутках. Исследуемая социально-экономическая система в этом близка по своим свойствам к биологическим, в ней наблюдаются [9]:

- динамические нелинейные соотношения между множеством компонент;
- сложные, итеративные характеры взаимодействий между их частями;
- динамичное развитие в сложных формах, включая хаотические режимы и самоорганизацию.

Вероятность реализации этого сценария достаточно высока, поскольку есть внутренние механизмы, которые его могут запустить и остановить эти процессы будет невозможно.

Второй (оптимистический) сценарий. В лучшем случае, при больших предколлапсных значениях функций $F_1(t)$ и $F_2(t)$ включатся механизмы торможения, которые смогут остановить социально-экономический рост. Данные процессы способны замедлить процесс развития. Они основаны на исчерпании природных ресурсов и снижении ассимиляционного потенциала окружающей среды. Этот механизм начнет тормозить социально-экономический безудержный рост. Исчерпание природных ресурсов снизит экспоненциальный рост функции $F_2(t)$, а качественное ухудшение окружающей среды уменьшает функцию $F_1(t)$. Все это случится через 3-4 периода удвоения функции $F_2(t)$, то есть через 35 ± 15 лет, что согласуется с математически выведенными величинами уравнений (16).

ВЫВОДЫ.

Основной силой, временно задерживающей процесс экспоненциального развития общества, являются кризисы, которые выступают в роли самоорганизующего и как ни парадоксально это звучит, стабилизирующего фактора (на больших временных шкалах). Данные явления в жизни общества следует рассматривать как вполне закономерный эволюционный процесс, который проявляется с определенной цикличностью.

Список литературы

1. Тимофеев-Ресовский Н.В. Краткий очерк теории эволюции / Н.В. Тимофеев-Ресовский, Н.Н. Воронцов, А.В. Яблоков. – М.: Наука, 1969. – 408 с.
2. Особенности дифференцируемых отображений / [под. ред. В.И. Арнольда]. – М.: Мир, 1968. – 268 с.
3. Арнольд В.И. Теория катастроф / В.И. Арнольд. – М.: Наука, 1990. – 128 с.
4. Пригожин И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс; [пер. с англ. В.И. Аршинова, Ю.Л. Климонтовича, Ю.В. Сачкова]. – М.: Прогресс, 1986. – 432 с.
5. Хакен Г. Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии / Г. Хакен. – Москва – Ижевск: РХД, 2003. – 320 с.
6. Капица С.П. Синергетика и прогнозы будущего / С.П. Капица, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 288 с.
7. Пределы роста // Доклад по проекту Римского клуба «Сложное положение человечества». – М.: МГУ, 1996. – 208 с.
8. Герман А.С. Антиглобалистский манифест / А.С. Герман. – Спб.: СПбГУ, 2003. – 38 с.
9. Бородин Л.И. «Порядок из хаоса»: концепции синергетики в методологии исторических исследований / Л.И. Бородин // Новая и новейшая история. – 2003. – №2. – С.12-13.

Ярош О.Б. Динамічна модель катастроф мирового соціально-економічного розвитку / О.Б. Ярош // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління. – 2011. – Т. 24 (63). № 1. - С. 258-267.

У статті збудована глобальна динамічна модель катастроф соціально-економічного розвитку. В систему рівнянь включені дані двох змінних: народонаселення та енерговиробництва. Показано, що

кризисні явища постають у ролі самоорганізуючого чинника, який стримує глобальний розвиток у середньому в два рази. Цей механізм виявляється з певною циклічністю на різних тимчасових масштабах.

Yarosh O.B. The dynamic model of catastrophes of international socio-economic development /O.B. Yarosh // Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. – Series: Economy and Management. – 2011. - Vol. 24 (63), № 1. – P. 258-267.

The global dynamic model of catastrophes of socio-economic development is suggested and discussed in the article. Information on two variables is plugged in the system of equations: to the population and energy production. It is shown that crises come forward in a role of self organizing factor, they detain development in 2 times, show up with a certain cadence on different temporal scales.

Статья поступила в редакцию 20. 12. 2010 г.