



Макаренко О.С., д-р фіз.-мат. наук, проф., завідувач відділу прикладного нелінійного аналізу Інституту прикладного системного аналізу Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", пр. Перемоги, 37-А, Київ, 03056, Україна, email: makalex51@gmail.com, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6728-3058>

ПРОБЛЕМА СТАЛОГО РОЗВИТКУ В КРИЗОВИХ УМОВАХ І МІСЦЕ В НІЙ ПИТАНЬ МЕНТАЛЬНОСТІ Й АРХЕТИПІКИ

Досліджено, як змінюється розгляд проблеми сталого розвитку в умовах кризових ситуацій (зокрема, в умовах війни), та оцінено, як змінюються постановки завдань дослідження сталого розвитку і які модифікації інструментарію потрібні для математичного моделювання цих процесів у такому випадку. Розглянуто приклади можливої модифікації пунктів таких завдань у сучасних умовах. В основу запропонованих досліджень покладено попередні нароби авторів зі сталого розвитку, моделювання соціальних та економічних систем, завдань освіти та науки. Зокрема, виокремлено можливість застосувань моделей з класу звичайних диференціальних рівнянь, їх систем, клітинних автоматів, нейромереж, мультиагентних систем, системної динаміки та теорії мереж, а також різноманітних баз даних і геоінформаційних систем. Головною особистістю підходу є врахування можливості формалізації запропонованих завдань сталого розвитку, особливо в кризових умовах. У результаті досліджень і розробок отримано нові знання про відповідні процеси, постановки завдань і вибір математичних моделей та методів для їх дослідження. Запропоновані дослідження та розробки допоможуть розглядати специфічні завдання сталого розвитку функціонування України, зокрема завдань освіти та науки і багато іншого. Такі дослідження допоможуть у забезпеченні сталого розвитку України з урахуванням умов війни. Серед розділів концепції сталого розвитку важливими є питання впливу ролі та людського фактору на поведінку великих соціальних систем. Назвемо це умовно питаннями ментальності. Серед них важливими є питання архетипіки. Архетипікою умовно можна назвати галузь досліджень, яка розглядає глибинні структури свідомості, їх стабільність і можливі зміни. У кризових умовах дедалі більшого значення набувають дослідження впливу ментальних конструкцій і можливих їх змін.

Ключові слова: сталий розвиток, кризові умови, системний аналіз, ментальність, архетипіка.

Makarenko A.S., Dr Habil (Physics and Mathematics), Professor, head of applied nonlinear analysis department, Institute of applied system analysis National Technical University of Ukraine "Igor Sykorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37-A, Peremogy Prospect, Kyiv, 03056, Ukraine, email: makalex51@gmail.com, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6728-3058>

THE PROBLEM OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN A CRISIS AND PLACE FOR ISSUES OF MENTALITY AND ARCHETYPICS IN IT

The paper examines the consideration of the problem of sustainable development in crises (including in the war and the postwar period). It evaluates how sustainable development research is changing and what tools modifications are needed for mathematical modelling these processes in this case. The author considers the examples of possible transformation of such problems in current conditions. The

proposed research is based on the previous work of the authors on sustainable development, modelling of social and economic systems, and problems in education and science. In particular, the possibility of applying models from the class of ordinary differential equations, their systems, cellular automata, neural networks, multiagent systems, system dynamics and network theory, various databases and geographic information systems is emphasized. The approach's main feature is to consider the possibility of formalizing the proposed sustainable development tasks, especially in crisis conditions. As a result of research and development, new knowledge was gained about the relevant processes, problem statements and the choice of mathematical models and methods for their study. The offered research and developments will help to consider specific tasks of sustainable development of functioning of Ukraine, including functions of education and science and many other things. Such research will help ensure the sustainable development of Ukraine in light of the conditions of war. Among the sections of the concept of sustainable development, an important place is taken by the influence of the role and impact of the human factor on the behaviour of large social systems. This can be addressed as conditionally questions of mentality. Among them, archetypal issues are essential. The archetype can be conditionally called the field of research, which considers the deep structures of consciousness, their stability and possible changes. In times of crisis, investigation into the influence of mental constructions and their possible changes is becoming increasingly important.

Keywords: *sustainable development, crisis conditions, system analysis, mentality, archetype.*

Концепція глобального сталого розвитку є однією з основних для розбудови сучасного суспільства. Проте конкретизація різних аспектів цієї концепції залежить від конкретних систем, масштабів і умов. Завдання сталого розвитку розглядалися для умов відносно стабільного зростання. Найвні випадки кризових процесів, зокрема від глобальних до локальних (війна в Україні), тому важливою проблемою є адаптація завдань сталого розвитку до умов можливих кризових явищ.

З огляду на це, розглянуто можливість адаптації концепцій сталого розвитку до умов кризових ситуацій, набір засобів для застосування математичного моделювання, приклади дослідження деяких завдань сталого розвитку для кризових умов.

У результаті поставлено завдання уточнення та адаптації концепції сталого розвитку, описано нові знання про відповідні процеси, розглянуто можливості математичних моделей для їх дослідження.

Сталий розвиток як концепція та керівництво до дій дедалі більше привертає увагу світової спільноти із середини 60-х років ХХ ст. зусиллями Римського клубу. Спочатку ця концепція була тісно пов'язана з результатами математичного моделювання методом системної динаміки Дж. Форрестера. Надалі саме поняття "сталий розвиток" було якісно сформульоване Комісією Брундтланд у 1987 р. Надалі сталий розвиток став темою спеціальних зустрічей світових лідерів із залученням широкої спільноти (Ріо-де-Жанейро – Йоганнесбург – Ріо-де-Жанейро та інші зустрічі) [1]. Загальна концепція набула подальшого розвитку, як наслідок – 17 проблем сталого розвитку [2]. Паралельно розвивалися дослідження завдань сталого розвитку прикладного значення для проблем локального масштабу. Публікацій і досліджень на цю тему є дуже багато (зокрема, в Україні). Попри широку обізнаність щодо тематики, важко дати стислий і одночасно повний огляд. Наведемо декілька дослідників, які найбільше пов'язані з математизацією питань сталого розвитку (В.Д. Берг, Х. Дейлі, П. Дасгупта, А. Чикільніська, Д. ДіТом, Ф. Хеллман, Дж. Пеззі, О. Обін, Т. Паксой, Дж. Шефран,

С. Пікл, Г. Вебер). Україна не становить винятку у цьому питанні. Багато досліджень щодо сталого розвитку проведено школою М.З. Згуровського та філіалом Світового центру даних [3]. Певні дослідження Інституту Кібернетики також належать до напрямів, пов'язаних зі сталим розвитком. Деякі аспекти сталого розвитку досліджувалися вченими Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Дотичну тематику зустрічаємо в діяльності міністерств і відомств.

Поняття підтримуваного розвитку хоч і має відносно недовгу історію, проте вже набуло достатньої популярності, є реальним фактом і фактором політичного та суспільного життя і становить предмет численних публікацій [4]. Базовим є визначення, відоме з початку 90-х років ХХ ст. Проте наявні модифікації інтерпретації цього визначення, які залежать переважно від галузі наукових інтересів дослідників, що розглядають проблеми сталого розвитку. Це вербальні або якісні визначення сталого розвитку, або у кращому випадку дослідження окремих систем процесів, або індексів сталого розвитку. При розгляді сталого розвитку як базове визначення приймається ухвала Комісії Брундтланд 1987 р. Проте після 25 років є необхідність у подальшому розвитку основ концепції, її формалізації та використанні методів моделювання в процесі її дослідження. Обговоренню цих питань присвячено значну кількість досліджень сталого розвитку. Подальша формалізація концепції та моделей значною мірою залежить від сфери застосувань і може відрізнитися за моделями.

З огляду на це, **мета статті** – висвітлити деякі аспекти, пов'язані, насамперед, із формалізацією питань сталого розвитку [4], навести список класу моделей, які дозволяють розглядати багато проблем сталого розвитку; приділити головну увагу можливості адаптації концепції сталого розвитку до кризових умов.

Зміни до розвитку формалізації концепції сталого розвитку. У цьому розділі ми маємо намір обговорити деякі аспекти, які слід прояснити до обговорення питань формалізації сталого розвитку, адаптації концепції до кризових умов, а тим більше моделювання. При викладі ми намагатимемося слідувати індуктивним шляхом, переходячи від простих і ясних завдань до більш складних, щоб в результаті вийти на деяке розуміння аспектів, що стосуються найбільш загальних соціоприродничо-економіко-техніко-політичних систем. Назвемо такі системи SNET-інтегральними комплексами. Виклад у цій частині буде проведено на найпростішому ілюстративному рівні (для деяких систем нині наявні чіткі формулювання, які відповідають проблемі).

Три аспекти складних SNET. Поняття “сталий розвиток” фігурує в багатьох адміністративних проєктах з менеджменту – управління системами (екологічними, міськими, культурними, економічними тощо). Насамперед, розглядається ідея збереження ресурсів у неявному вигляді, друга частина визначення Комісії Брундтланд стосується розв'язання завдань майбутніх поколінь: для більшості управлінців – максимум на 10–15 років (збігається з практикою планування управлінських ланок). З огляду на проблеми сталого розвитку, важливу роль відіграють просторові масштаби систем (земля → континенти → регіони → країни → території країн → міста та окремі ландшафти → елементи підсистеми) та часові масштаби: наприклад, від часів порядків геологічних епох до періодів зміни ландшафтів і змін клімату, до річних інтервалів (і

менше, якщо треба). Чітко простежуються різні часові шкали в аспектах SNET: наприклад, цивілізації → уклади → циклічні явища в культурних процесах → річні шкали тощо.

Багато масштабів пов'язано з економічною й індустріальною активністю: К. Камерон (~200 років), Й. Шумпетер та М. Кондратьєв (~50 років), цикли у будівництві (~10–12 років), в агропромисловості (~1 рік) тощо. Варто також пам'ятати про масштаби, пов'язані з біологією: час зміни генотипу та фенотипу, закономірності природного відбору (наприклад, як у теорії еволюції Дарвіна) зміна поколінь у людських спільнотах.

Геометричні ілюстрації до проблем сталого розвитку. З перших робіт Дж. Форрестера, що заклали основи проблематики сталого розвитку, важливу роль відіграло представлення результатів розрахунків та уявлення концепцій як наочних графіків. Коли розглядають такі графіки, переважно приводять залежність якоїсь величини (наприклад, кількості населення або запасів нафти, або забруднення) від часу, або залежність всіх величин наводять на одновимірному графіку. При цьому затушовується саме поняття сталого розвитку, принаймні ті його аспекти, що пов'язані з вичерпанням ресурсів наступних поколінь. Так, типовим у літературі графік типу, наведеного на рис. 1.

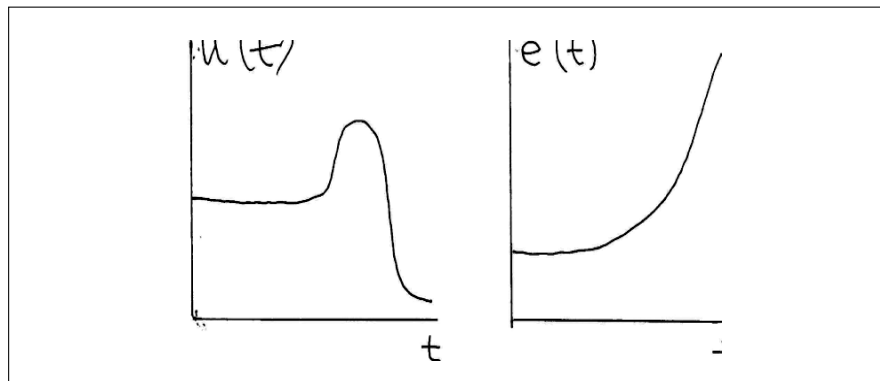


Рис. 1. Залежність чисельності населення (ліворуч) та забруднень природи (праворуч)

Графіки такого виду представляють лише один аспект SNET, тоді як слід розглядати ілюстрації в багатовимірному просторі всіх компонентів. З огляду на ці міркування, одновимірна ілюстрація сталого розвитку має виглядати дещо іншим чином (рис. 2).

На рис. 2 еволюція параметра $P(t)$ за умови обмеженості ресурсів G_1 та G_2 означають обмеження можливих траєкторій у системі, величини T_1 та T_2 умовно показують межі поколінь, які змінюють одне одного.

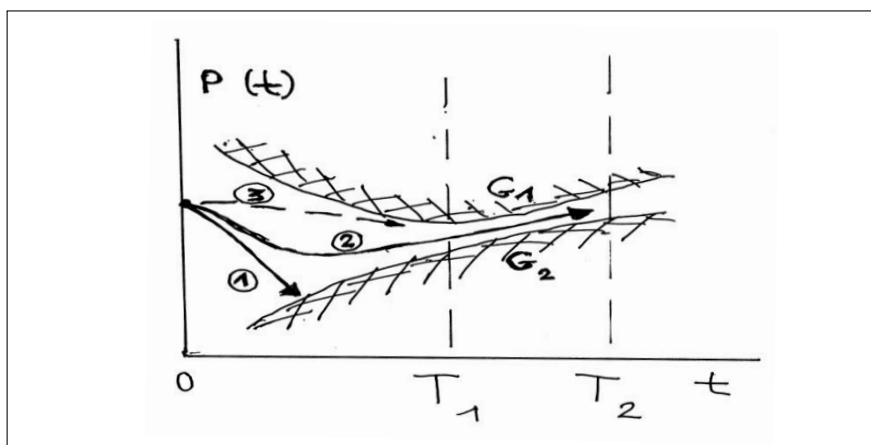


Рис. 2. Різні сценарії еволюції системи

За даними рис. 2, траєкторія 1 відповідає випадку невідтримуваного розвитку, коли ресурсів не вистачить вже нинішньому поколінню, траєкторія 2 – випадку, коли сталий розвиток забезпечується, траєкторії 3 – випадку, коли сталий розвиток забезпечується в практичному менеджменті територій, систем, організацій (планування в межах того самого покоління). Рис. 2 є дуже спрощеним, тому наведемо подальші ускладнення на цьому рівні. Природні ресурси переважно вичерпуються, тому сценарії на рис. 2 мають виглядати як на рис. 3.

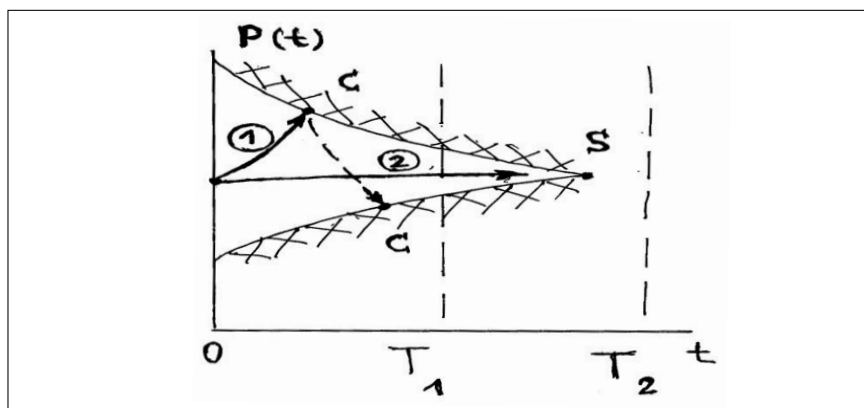


Рис. 3. Вичерпання ресурсів розвитку

Точка S відповідає неможливості функціонування систем після вичерпаних ресурсів. Зауважимо, що траєкторія 2 можлива при найкращому фіксованому способі управління.

У наведених рисунках передбачається, що траєкторія SNET не може подолати обмеження і настає криза (у точці C) або катастрофа (у точці S). Так, обмеження – це

запаси нафти для транспорту, який працює лише на бензині. Відповідно до історії SNET, еволюція згодом відбувається не настільки однозначно, а через потребу в системах відбуваються перебудови, які можуть дозволити системі існувати та розвиватися далі. Це показано на рис. 4 схематично.

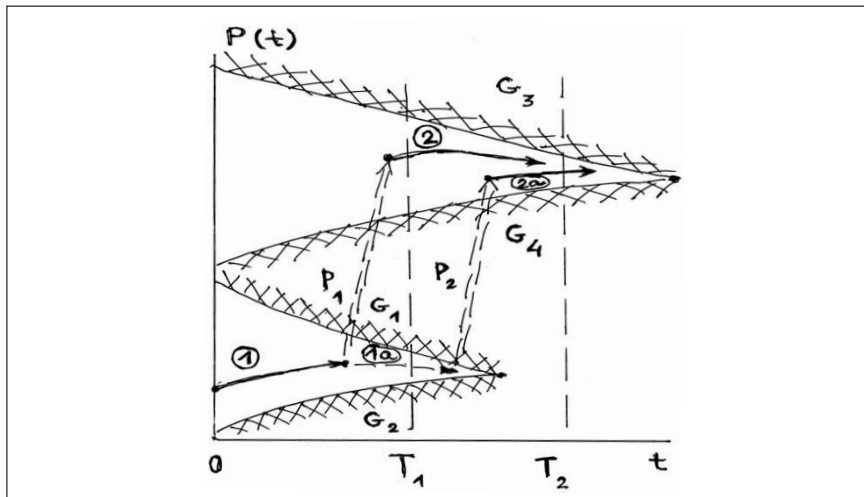


Рис. 4. Перехід від однієї ресурсної бази ($G_1 - G_2$) до іншої ($G_3 - G_4$)

Схематично це означає, що система може перейти від одного типу до іншого (наприклад, від нафтової та вугільної енергетики до ядерної). Так, P_1 і P_2 відповідають можливим шляхам переходу від однієї до іншої енергетики. Зауважимо, що можливий зворотний перехід, наприклад, з траєкторії 2 на 1 (або з 2а на 1). Це може на прикладі енергетики означати втрату ядерних технологій (або через катастрофи, або через втрату знань про технології). На рисунках обмеження залежать від часу (насправді – і від інших параметрів). На рис. 1–4 обмеження насправді є проєкцією багатовимірних обмежень для траєкторії руху SNET. Водночас обмеження в певному сенсі є двоїстими до траєкторій – їх можна знайти як межі можливих траєкторій. Вид обмежень для одно- та двовимірних рисунків 1–4 можна отримати як у теорії катастроф або особливостей диференційованих відображень (у тих випадках, коли вони застосовані) як проєкції багатовимірних поверхонь на площину. Насправді гіпотетичні переходи P_1 , P_2 на рис. 4 повинні відбуватися в додаткових (прихованих) для такого типу одномірних рисунках. На рис. 1–4 показано індекси, що характеризують систему. Якби важливим було лише зростання параметра $P(t)$ на рис. 3, то величина $P(T)$ і була б індексом прогресу (розвитку). Проте зрозуміло, що він сам по собі (без урахування обмежень) не може характеризувати ступінь сталості траєкторії, і індекс сталого розвитку необхідно будувати спеціальним чином.

Отже, є багато варіантів постановок проблем сталого розвитку.

Приклад 1 (економіка). А Чикільніська у своїх роботах з математичного дослідження, насамперед, завдань економіки сформулювала критерії сталого розвитку стосовно саме економіки (навіть у вигляді аксіом, які на відміну від інших враховують аспекти збалансованого обліку інтересів покоління, не на шкоду один одному). Умови оптимальності значно відрізняються від результатів при отриманні максимального прибутку. До цього напрямку належать і деякі ідеї Р. Солоу і частково (хоча в ідейному плані ширші) Е. Нельсона та К. Дозі. Проте інші аспекти (крім економічних) враховані набагато менше.

Приклад 2 (еволюційна біологія). Інший клас робіт, який є корисним для продукування ідеї сталого розвитку, зосереджений навколо моделей еволюції в біології зі зміною генотипу та дослідженням стійкості угруповань (популяцій). З робіт на цю тему слід зазначити праці Т. Ренда. Ці дослідження зосереджені на атракторах відповідних систем, їх властивостях і стійкості під впливом зміни у складі системи. Проте у зазначених працях розглянуто лише проблеми, пов'язані з біологією, до того ж для малих розмірностей.

Приклад 3. Самоорганізована критичність і трансформаційні переходи. У працях П. Бак, Р. Снеппен розглянуто питання переходу складних систем до нестійкого стану та лавинні процеси розвантаження таких станів. Крім того, досліджено швидкі переходи між майже рівноважними станами – так звані пунктовані переходи [5]. Однак виявлені закономірності хоч і дають деякі розуміння ефектів у таких системах, мають значення лише як частина загальної картини.

Наведені приклади відрізняються від величезного різноманіття інших робіт зі сталого розвитку (особливо описового або навіть філософського плану) наявністю математичних моделей та їх досліджень. Проте вони не дають уявлення про загальну схему сталого розвитку (хоча часто наводять міркування, що дозволяють сформулювати ідеї щодо сталого розвитку). Тому в наступному розділі ми спробуємо дати деякі первинні міркування щодо формалізації поняття сталого розвитку.

Формалізація опису сталого розвитку. Розгляд проведемо для двох випадків більш простого локального та глобального (у деякому введеному нижче сенсі). Спочатку розглянемо те, що ми називаємо локальною схемою (коли розглядається тільки одне покоління, яке вирішує тільки свої локальні за часом завдання, з огляду на локальні критерії).

Спочатку наведемо структури та поняття, які слід враховувати у завданні щодо локального сталого розвитку.

Формалізація опису процесу сталого розвитку:

1. Параметри системи та їх опис (зовнішніх, внутрішніх, керуючих тощо). У цьому підрозділі не розглядатимемо в деталях властивості цих (і наведених елементів опису, а лише спробуємо виокремити, які структури слід розглядати).

2. Рівняння, що описують системи та процеси.

3. Множина траєкторій системи.

4. Обмеження на траєкторії, параметри системи та множина граничних точок обмежень.

5. Множина критеріїв стійкості або критеріїв сталого розвитку.

6. Множина зовнішніх керуючих параметрів.

7. Множина, що становить вікову структуру популяцій на певному інтервалі часу.

8. Множина початкових умов.

9. Структура системи, структура процесів і внутрішня структура індивідуумів. Ці множини можна вводити, якщо знати, як влаштовані такі об'єкти. Проте можна впевнено припускати, що такі структури справді існують (навіть, якщо явно про них нічого не відомо).

10. Додаткові вимоги до компонентів (бажані) – додаткові обов'язкові обмеження.

11. Опис процесу прийняття рішень. За необхідності можна розбити їх на окремі компоненти.

12. Множина невизначеностей у системі. У разі необхідності ця множина також може бути розбита на компоненти.

Тепер опишемо, що таке завдання сталого розвитку. Знайдемо такі об'єкти: множини початкових даних, параметрів, траєкторій, управлінь, рішень, в результаті чого буде отримана така траєкторія при еволюції системи, що виконується збереження траєкторії системи в межах допустимих обмежень і у всі моменти часу в майбутньому. Це означає виконання критерію сталого розвитку у всі часи на траєкторії системи.

Сенс визначення для кращого розуміння продемонструємо на простих ілюстраціях за допомогою геометричних картинок. Зробимо тут кілька зауважень.

Примітка 1. До 12 наведених пунктів можна додати ще один – множину моделей, якщо використовується моделювання.

Примітка 2. З огляду на можливість різних сценаріїв (багатозначність траєкторій системи), яка може виникати внаслідок різних причин, зокрема через те, що велика система включає соціальний компонент.

Примітка 3. Можлива наявність флуктуацій та інших невизначеностей (при оцінці ризиків). Тоді можна врахувати невизначеність в об'єктах, розглянути деякі множини пунктів 1–12, доповнених описом невизначеностей.

З огляду на структуру визначення для завдання сталого розвитку, можна рухатися далі, розширювати та деталізувати визначення під конкретні завдання.

Врахування наявності багатьох різних поколінь (для простоти говоримо про два покоління), наприклад, можливо, що у двох поколінь різні критерії сталого розвитку для різних поколінь. Можуть бути різні для різних поколінь обмеження управління. Ми можемо не знати точно критерії сталого розвитку, оскільки сталий розвиток залежить від майбутніх технологій, а фактично – від майбутніх знань, про які ми можемо тільки здогадуватися.

Наведемо деякі приклади для ілюстрації.

Приклад 1. Ми можемо у першому наближенні задати множину критеріїв як множину, де деякі показові індекси сталого розвитку задовольняють прийнятим уявленням про критерії сталого розвитку. При цьому багато тонких деталей процесів і поведінки систем не враховуються. Зазначимо деякі праці, присвячені пошуку індексів [3].

У працях Д. Форрестера знання не входять до складу основних змінних.

Приклад 2. У працях А. Чикільніської, наскільки можна судити, індекси сталого розвитку формуються лише з економічних міркувань.

Приклад 3. У праці Т. Ренда стани системи змінюються з часом, а критерії сталого розвитку можна сформулювати математично коректно.

Приклад 4. Еволюційна економіка. Можна скласти таблицю порівняння досліджень сталого розвитку у такій формалізації.

Запропонована схема розгляду підходить до будь-якого варіанту процесів сталого розвитку: як описового (вербального), так і конкретних практичних завдань або для завдань, що вже мають формалізацію у вигляді математичних задач.

Огляд і порівняння математичних постановок були б дуже корисними, і їх результати сподіваємося подати в майбутньому у вигляді таблиці. Одразу ж наведемо ілюстративні приклади.

Приклад 5 (локальний сталий розвиток). Це простіший випадок, якщо істотно не змінюється ситуація, використовуються прості моделі (переважно, це відповідні одній зі “стовпів” системи та без урахування зміни поколінь). Критерії сталого розвитку можна записати з урахуванням різних факторів (наприклад, швидкість на траєкторії, запас енергії для управління тощо). У такому вигляді це нагадує завдання управління рухом з відповідними математичними постановками (управління рухом з обмеженнями).

Індекси стійкого (підтримуваного) розвитку. Обговорення в попередніх підрозділах також можуть допомогти у вирішенні іншої важливої проблеми підтримуваного розвитку: у пошуку індексів сталого розвитку. Нещодавно багато таких індексів було запропоновано для різних масштабів, завдань, організацій та установ (підхід ООН, показники Світового банку, індекси урядів різних країн). Проте загальна проблема показників ступеня підтриманості є відкритою. Частково це через одномоментну природу використовуваних індексів.

Відповідно до аналізу сталого розвитку, є певна ієрархія запропонованих індексів, залежно від обраної деталізації процесів у системі. Найпростіший випадок відповідає малому числу істотних параметрів у системі.

Не тільки стан системи $\mathcal{S}(t)$ у цей момент t є важливим, слід враховувати і еволюцію системи, оскільки велике значення має динаміка траєкторії системи щодо обмежень у майбутньому.

Неявно в цьому випадку ми припускаємо, що траєкторія системи $\mathcal{S}(t)$ може бути розрахована за допомогою деяких моделей. Зауважимо, що у спеціальному випадку $T = t$ ми приходимо до випадку наявних індексів підтриманості.

Випадок складніших систем вимагає більш розвиненого визначення показників (навіть для спрощеного випадку фіксованих обмежень) через великі розмірності реальних систем. Випадок обмежень, що змінюються з часом, може бути розглянутий при обчисленні індексу Δ сталого розвитку з непостійними обмеженнями.

Друга проблема, що пов'язана з високими розмірностями аналізованої системи, є складнішою. Зазвичай у разі досліджень сталого розвитку відома лише мала кількість вимірів (зазвичай з деякого простору). У цьому випадку ми можемо поділити всі па-

параметри N на дві частини: N_1 – вимірювані параметри (або видимі параметри) і внутрішні $N_2 = N - N_1$ (невидимі) параметри, де $\Delta_1(\dot{s}(\tau), \tau \in [t, T])$ – оцінка відстані від обмежень для параметрів, що вимірюються, і $\Delta_2(\dot{s}(\tau), \tau \in [t, T])$ – оцінка для відстані від обмежень для внутрішніх параметрів.

У цьому підрозділі ми сформулювали деякі міркування щодо можливості побудови індексу сталого розвитку. Подальший розвиток теорії та вибір адекватних практичних індексів залежатиме від використання різних математичних моделей системи. Тому в наступних розділах ми дуже коротко описуємо деякі факти про моделі, які корисні для розгляду сталого розвитку, зокрема в кризових умовах.

Примітка 1. Обмеження можуть змінюватися в часі, бути дуже складними, при цьому для окремих компонентів можуть бути рівняння різної природи, які залежать від самих рішень і самих взаємодіючих систем. Доречним є застосування концепцій синергетики, зокрема, поняття ведучих параметрів, біфуркації, СОК (самоорганізована критичність), дисипативні структури, параметри порядку, флуктуації.

Примітка 2. Можна більш-менш адекватно враховувати невизначеність за локального сталого розвитку.

Примітка 3. Можна врахувати аспекти, пов'язані з наявністю різних поколінь (збереження ресурсів для вирішення таких завдань наступних поколінь), поставити завдання через різні функціонали щодо сталого розвитку. При цьому для наступних поколінь невизначеність є якісно іншою, що також можна врахувати в запропонованій схемі.

Моделі для сталого розвитку. Отже, можна повернутися більш конкретно до математичного моделювання сталого розвитку. Глобальне завдання сталого розвитку дуже складне і багатопланове, з багатьма “стовпами”, змінними процесами, системами, ієрархіями рівнів, масштабів тощо. Математичне моделювання як наукова дисципліна, і як галузь інженерії, незважаючи на відносну молодість розвитку (скажімо, 100–150 років існування, максимум 250), є вже досить розвиненою. При цьому розвиток математичного моделювання відбувався таким чином, що спочатку найбільшого розвитку отримали моделі для конкретних (проблемних) сфер (наприклад, теплопровідність, пружність, поширення забрудненості, молекулярна структура, біологія популяцій тощо). Тому при побудові глобальних моделей сталого розвитку для окремих “стовпів”, підсистем, процесів можна (за бажання) використовувати вже готові або добре пристосовані моделі. При цьому є проблеми адекватного сполучення таких моделей в інтегральному комплексі моделей. Загальне визначення (або опис глобального сталого розвитку) може допомогти у підборі та поєднанні моделей. Отримана з різнотипних інтегральна модель може бути дуже складною для моделювання (навіть за наявності надпотужних комп'ютерів), а результати – дуже складними при їх інтерпретаціях.

Тому будь-які спроби побудови інтегральних моделей (особливо з новими принципами побудови) можуть бути надзвичайно корисними. Нижче ми наведемо основи побудови на нових принципах глобальних моделей сталого розвитку, що дозволяють

розглядати якісно та кількісно нетривіальні питання на кшталт ментальності, сценаріїв, пунктової рівноваги, трансформації систем тощо.

Моделі сталого розвитку у класі моделей з асоціативною пам'яттю. Основні базові принципи були розвинені з 90-х років ХХ ст. [4; 6; 7].

Моделі автора розглядають суспільство як великий комплексний об'єкт, створений з багатьох елементів із зв'язками. Розгляди властивостей суспільства дозволяють виокремити деякі цікаві властивості, а потім пропонувати моделі, які можуть імітувати режими суспільства. Дивовижним чином моделі нагадують моделі мозкової активності – нейромережі. Такі моделі досліджуються автором з 1992 р. і вже були застосовані.

Критичний крок у створенні нових моделей полягає у прийнятті до уваги поняття глобальної культури суспільства як колекції всіх матеріальних досягнень плюс духовні типи моралі, етики, релігії, справедливості, освіти. Глобальна культура також іноді називається колективною пам'яттю суспільства. Глобальна культура – дуже стійка конструкція та становить основу цивілізації (А. Тойнбі, І. Валлерстайн). Запропоновані моделі мають такі динамічні принципи, що дозволяють моделювати поведінку глобальної культури у часі. Це пов'язано з тим, що моделі мають властивість асоціативної пам'яті. Поведінка історичних процесів нагадує прагнення до дуже стійких конструкцій і так званих точок тяжіння (атракторів) у розпізнаванні образів в інформатиці та нейробіології. Багато соціальних підсистем у суспільстві також мають подібні властивості, і це дозволяє розглядати окремі підмоделі.

У ранніх роботах автор розглядав новий клас моделей суспільства як модифікацію моделей типу нейромережових моделей Дж. Хопфілда або спінового скла [6; 7]. У моделях Дж. Хопфілда система має тенденцію до одного з небагатьох стійких станів з мінімумом деякого функціоналу енергії. Потенційний ландшафт “енергії” у такому разі виглядає приблизно як на рис. 5 внизу (представлений умовно як поверхня функції станів системи).

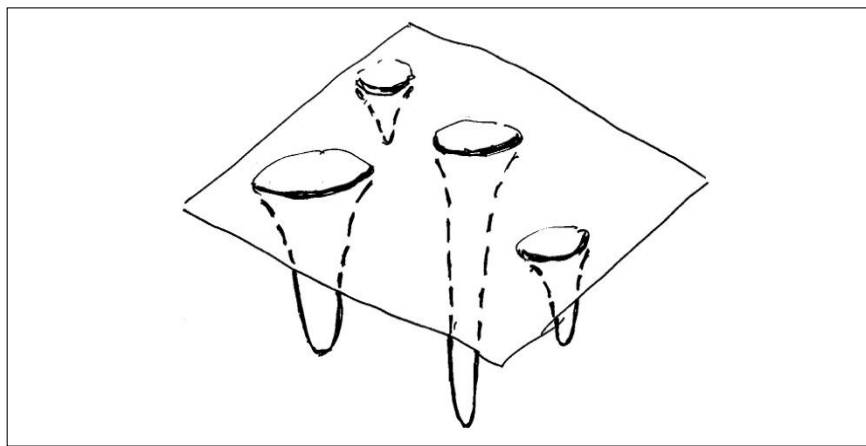


Рис. 5. Ілюстрація потенційного “ландшафту” системи

Завдання адаптації концепції сталого розвитку до кризових умов. Внаслідок кризових умов виникає потреба адаптувати різні аспекти концепції сталого розвитку. Використання пунктів сталого розвитку та його формалізації вище дозволяє намітити зміни, які бажано провести для адаптації концепції. Спочатку позначимо дуже стисло зміни за пунктами, а потім більш детально прокоментуємо деякі з них. Особливу увагу звернемо на ті зміни, які можуть дозволити моделювання процесів з метою прийняття управлінських рішень.

Необхідні зміни в концепції. Дуже коротко наведемо зміни в концепції сталого розвитку, які треба врахувати у випадку кризових умов:

1. Параметри системи та їх опис (зовнішніх, внутрішніх, керуючих тощо). В умовах кризи можуть змінюватись і самі параметри, їх сенс і додаватися нові (наприклад, зовнішнє управління).

2. Рівняння, що описують системи та процеси. Рівняння можуть бути ті самі, але параметри можуть змінюватись, що може спричинити істотну зміну поведінки рішень. Можуть з'являтися нові моделі.

3. Множина траєкторій систем (наприклад, замість періодичних коливань можуть з'являтися режими хаосу).

4. Обмеження на траєкторії та параметри системи. Обмеження можуть істотно змінюватись (наприклад, різке скорочення ресурсів та інфраструктури внаслідок кризи).

5. Множина критеріїв сталості або критеріїв сталого розвитку.

Це є одним з головних понять, що потребує модифікації. Переважно сталий розвиток розуміється саме як плавний розвиток зі зростанням різних показників та індексів сталого розвитку. Проте в кризових умовах, коли все різко змінюється і різні характеристики систем і процесів можуть різко падати, саме поняття сталого розвитку має враховувати можливість такої ситуації. При цьому головне – зберегти саму можливість розвитку (хай і за деформації системи в кризовий період). Одне з головних завдань у такий період – зберегти систему освіти та науки, оскільки нові знання – один з головних ресурсів для сталого розвитку суспільства.

6. Множина зовнішніх керуючих властивостей теж може змінюватись.

7. Множина, що становить вікову структуру популяції на інтервалі (наприклад, в умовах війни значно скорочується когорта молодих).

8. Множина початкових умов (наприклад, множина доступних матеріальних ресурсів).

9. Структура системи, процесів. Приклад змін – руйнування інфраструктури або перехід економіки зі звичайного стану на мобілізаційний.

10. Додаткові вимоги до компонентів (бажані) – додаткові обов'язкові обмеження (наприклад, моральні).

11. Опис процесу прийняття рішень. За необхідності можна розбити їх на окремі компоненти (наприклад, замість звичайних систем управління можуть бути кризові штаби).

12. Множина невизначеностей у системі. Може бути необхідним враховувати абсолютно нові невизначеності, вплив яких був мізерно малий у звичайних умовах, або

абсолютно нові. Тепер опишемо завдання сталого розвитку. Визначення загального завдання сталого розвитку з урахуванням кризових умов залишається тим самим, але параметри і змінні, що входять до визначення, можуть змінитися. Ці зміни залежать від умов, системи та підзавдань.

Можливості адаптації моделей сталого розвитку до кризових умов. Наявне різноманіття математичних моделей для прогнозування різних аспектів сталого розвитку. Не будемо перераховувати тут всі можливості, оскільки це потребує окремих оглядів. Нагадаємо лише декілька: диференційні рівняння, клітинні автомати, системна динаміка, економетрика, нейронні мережі, мережові концепції [4; 8]. Автором було запропоновано новий підхід до моделювання суспільства (моделі з асоціативною пам'яттю) [4; 6–9]. Зауважимо, що саме побудова останніх моделей дозволила зрозуміти шлях до формалізації концепції сталого розвитку. Усі типи моделей, що застосовувались раніше, придатні до розгляду кризових умов, але потребують адаптації, особливо в постановці дослідницьких завдань.

Необхідність і можливість зміни індексів сталого розвитку. Окремим завданням є пошук адекватних індексів сталого розвитку [3]. При їх обрахуванні застосовується статистика за поточний період (зокрема, офіційна ООН) і вираховується спочатку три загальних показники, а потім вони зводяться до одного показника – індексу сталого розвитку країни. Це дуже важливо для порівняння, наприклад, країн. Проте поки що ці показники не враховують передісторію показників. Крім того, якщо в країні або світі настають кризові умови, то окремі показники зменшуються і, відповідно, зменшується класичний індекс сталого розвитку. При цьому не враховується, що буде в майбутньому. Тому індекс сталого розвитку мусить враховувати як передісторію, так і можливі сценарії розвитку системи. Цих сценаріїв та індексів сталого розвитку може бути багато. Кількість сценаріїв можна приблизно передбачити за експертними оцінками або в деяких випадках за допомогою математичного моделювання.

Питання ментальності й архетипіки. Серед розділів концепції сталого розвитку важливими є питання впливу ролі та людського фактору на поведінку великих соціальних систем. Назвемо це умовно питаннями ментальності. Поняття ментальності має дуже багато аспектів. Серед них важливими є питання архетипіки. Архетипікою умовно можна назвати галузь досліджень, яка розглядає глибинні структури свідомості, їх стабільність і можливі зміни. В Україні цим займається ціла школа архетипіки, заснована Е. Афоніним [10–12]. Для питань сталого розвитку в кризових умовах дедалі більшого значення набувають дослідження впливу ментальних конструкцій і можливих їх змін на процес та його результати. Тут опишемо лише деякі з можливих важливих питань. Тут опишемо ці питання на концептуальному рівні.

У працях [4; 6; 8; 9] запропоновано подальші ускладнення моделей з асоціативною пам'яттю, що дозволило врахувати питання ментальності, зокрема архетипіки в завданнях сталого розвитку.

Внутрішнє уявлення зовнішнього світу. Врахування менталітету вимагає розгляду внутрішніх структур свідомості та включення їх у глобальні ієрархічні моделі. Є багато підходів для врахування менталітету [4]. Найбільш природний шлях для цього завдання полягає в тому, щоб розглянути модель для внутрішньої структури в класі

нейромережових моделей. Нагадаємо, що спочатку нейромережові моделі були введені в дослідженнях мозку.

Проте один з найперспективніших шляхів для врахування менталітету полягає у пошуку рівнянь також у нейромережевому класі. Тут пропонується запровадити вбудовані розумові моделі Світу в елементах, які представляють особи, або центри прийняття рішень з людською участю. Найпростіший шлях – зображення (образу) Світу в мозку індивідуума або застосування моделей як наборів елементів і зв'язків між елементами. У такому образі Світу є місце для представлення індивіда безпосередньо з персональними вірою, навичками, знанням, уподобаннями. Найпростіше (схематичне) уявлення образу Світу з внутрішнім уявленням індивіда може бути представлено у вигляді мережі.

Індивід має деяке уявлення про устрій Світу, але істотно новий ефект – індивід може представляти себе як один з елементів Світу. Ментальні структури інших особистостей також можуть бути представлені таким способом. Отже, суспільство як комплексна система має сутнісно новий опис. На першому рівні опису ми маємо множину елементів, які з'єднані зв'язками. На другому рівні опису всім елементам ми приєднали структуру (деякий образ Світу). На цьому рівні конструкція нагадує розшарування з диференціальної топології. Проте у нас структура ще складніша, оскільки через властивості саморефлексивності наявний нескінченний ланцюжок рівнів, де кожне уявлення в такому продовженні копіює весь ланцюжок.

Один можливий спосіб урахування ментальності. Закони для елементної поведінки мають залежати від такої думки. Формально ми можемо вводити оператори проєктування P для представлення образу зовнішнього Світу в індивідуальному мозку: дуже важливо, що кожен індивід має власне персональне зображення Світу.

У такому підході ментальні характеристики індивідуума відображаються у вигляді спеціальної структури (переважно мережевої). Ці структури поділяються на два класи: які майже незмінні (або майже незмінні з плином часу) та які можуть суттєво змінюватись з часом. Перший клас дає можливість враховувати питання, пов'язані з архетипікою. Другий клас відображає змінні та параметри, які можуть бути змінені в результаті цілеспрямованого керування з боку держави. Такі питання можуть бути розглянуті в межах запропонованих моделей.

Загальна архетипіка. Окремо слід згадати питання загальної архетипіки [10–12]. У межах запропонованих підходів можна намагатись також підступитися до проблеми формалізації архетипіки та подальшого її дослідження. Для цього потрібно навчитись описувати архетипіку в межах багатовимірних мережових структур. Це складне дослідницьке завдання, де навіть структура адекватного представлення понять не зовсім відома. Проте використання спрощених модельних конструкцій може допомогти в розумінні загальних проблем і пошуку навіть інтуїтивних управлінських рішень.

Важливість сучасних соціологічних досліджень в кризових умовах. Для розгляду питань сталого розвитку, як загальних, так і локальних (регіональних) практичних важливим є володіння знанням про реальний стан речей. Це стосується, насамперед, розвитку в більш-менш стабільних умовах, ще більше – сталого розвитку в кризових умовах, в яких збір статистики стає обмеженим і наявна проблема запізнення в часі.

Тому треба розробляти механізми подолання цих труднощів. Така проблема виникає в економетриці. Особливо важкими завданнями є збір соціальної статистики. У таких умовах дедалі важливими є виокремлення потрібної інформації з більш ускладненими та нестандартними методами, застосуванням до обчислення (прогнозування) параметрів. У питаннях статистичних параметрів, що характеризують ментальність, можна виокремити методи кольорових тестів та інших опитувань і обробки даних [13].

Проблеми керування сталим розвитком у кризових умовах. Особливо важливою проблемою є проблеми пошуку адекватних шляхів керування для забезпечення сталого розвитку в кризових умовах. Формальний розгляд таких питань є справою кропітких подальших розробок. Проте результати аналізу запропонованих пунктів може допомогти навіть у практичній діяльності для розуміння деяких аспектів поведінки систем і процесів. Тому запропонована робота є першим кроком (але важливим) на цьому шляху. Зауважимо тут тільки, що знання, наука та освіта є ключовими для глобального сталого розвитку. Тому особливо важливо підтримувати ці галузі в критичних умовах і цьому аспекту буде присвячено окремі публікації.

Висновки. Таким чином, запропоновано якісний розгляд питань, що пов'язані з постановкою проблеми сталого розвитку в кризових умовах. Розглянуто загальну схему сталого розвитку, її компоненти та запропоновано шляхи її адаптації до кризових умов. Наведено деякі пропозиції з прикладами, як це може бути реалізовано. Особливу увагу приділено впливу внутрішніх (ментальних) питань учасників соціуму на вирішення різних проблем у кризових умовах.

Хоча це один з перших кроків у напрямі розгляду проблеми сталого розвитку в кризових умовах, проте він дозволяє намітити шляхи для подальшого розвитку та застосувань. По-перше, запропоновані модифікації концепції сталого розвитку дозволяють формувати деякі корисні якісні рекомендації при розгляді конкретних практичних завдань. Одна з найважливіших – проблема сталого розвитку систем освіти та науки в кризових умовах. По-друге, із запропонованого в роботі розгляду питань сталого розвитку з'явилась можливість формулювати подальші загальні дослідницькі завдання в сфері сталого розвитку.

Список використаних джерел

1. Our Common Future. Sustainable Development. URL: <https://www.iisd.org/topic/sustainable-development>
2. Sustainable development goals. URL: <https://sdgs.un.org/ru/goals>
3. Згуровский М.З., Статюха Г.А. Основы устойчивого развития общества. Киев: КПИ, 2010. Ч. 1. 464 с.
4. Makarenko A. Sustainable development and principles of social systems modelling. Kyshyniv: Generis Publisher, 2020. 173 p.
5. Bak P., Sneppen K. Punctuated Equilibrium and Criticality in a Simple model of evolution. *Physical Review Letters*. 1993. Vol. 71 (24). P. 4083–4089. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.71.4083>
6. Макаренко А. О моделях глобальных социоэкономических процессов. *Доклады Украинской академии наук*. 1994. № 12. С. 85–87.
7. Makarenko A. Collective Properties of Large Social Systems. *New Approaches Taras Shevchenko 6th Int. Conf. on Social Sciences*. Kyiv, 4–5 April 2021. Vol. 3. P. 911–916.

8. Gaeta M., Iovane G., Makarenko A. Information theory and possible mathematical description of economical and social systems based on real physical phenomena. *System Research and Information Technologies*. 2005. Vol. 4. P. 52–64.

9. Makarenko O. Mentality issues in the transformation processes of the postmodernity society. *Ukrainian society*. 2021. No 1 (76). P. 12–22. <https://doi.org/10.15407/socium2021.01.012>

10. Афонін Е.А., Мартинов А.Ю. Архетипні засади моделювання соціальних процесів. *Публічне управління*. 2016. № 2. С. 34–47.

11. Суший О.В., Афонін Е.А. Архетипіка і публічне управління: виклики та ризики суспільної трансформації. *Український соціум*. 2016. № 2 (57). С. 137–141.

12. Маффесолі М. Час племен. Київ: НУКМА, 2018. 264 с.

13. Афонін Е.А., Мартинов А.Ю. Українське диво: від депресії до соціального оптимізму. Київ: НУКМА, 2019. 294 с.

Отримано 02.06.22

References

1. Our Common Future. Sustainable Development. URL: <https://www.iisd.org/topic/sustainable-development>

2. Sustainable development goals. URL: <https://sdgs.un.org/ru/goals>

3. Zhurovskiy, M.Z., Statiukha, H.A. (2010). Fundamentals of sustainable development of society. Kiev: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute [in Russian]

4. Makarenko, A. (2020). Sustainable development and principles of social systems modeling. Kyshyniv: Generis Publisher.

5. Bak, P., Sneppen, K. (1993). Punctuated Equilibrium and Criticality in a Simple model of evolution. *Physical Review Letters*, 71 (24), 4083-4089. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.71.4083>

6. Makarenko, A. (1994). On models of global socio-economic processes. *Doklady Ukrainsoi akademii nauk – Reports of the Ukrainian Academy of Sciences*, 12, 85-87 [in Russian]

7. Makarenko, A. (2021, April 4-5). Collective Properties of Large Social Systems. In *New Approaches Taras Shevchenko 6th Int. Conf. on Social Sciences* (pp. 911-916). Kyiv.

8. Gaeta, M., Iovane, G., Makarenko, A. (2005). Information theory and possible mathematical description of economical and social systems based on real physical phenomena. *System Research and Information Technologies*, 4, 52-64.

9. Makarenko, O. (2021). Mentality issues in the transformation processes of the postmodernity society. *Ukrainian society – Ukr. Socium*, 1 (76), 12-22. <https://doi.org/10.15407/socium2021.01.012>

10. Afonin, E.A., Martynov, A.Yu. (2016). Archetypal principles of modeling of social processes. *Publichne upravlinnia – Public Management*, 2, 34-47 [in Ukrainian]

11. Sushyi, O.V., Afonin, E.A. (2016). Archetypics and public management: challenges and risks of social transformation. *Ukrainian society – Ukr. Socium*, 2 (57), 137-141 [in Ukrainian]

12. Maffesoli, M. (2018). Tribal time. Kyiv: National University of Kyiv-Mohyla Academy [in Ukrainian]

13. Afonin, E.A., Martynov, A.Yu. (2019). Ukrainian miracle: from depression to social optimism. Kyiv: National University of Kyiv-Mohyla Academy [in Ukrainian]

Received on 02.06.22