



ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ НА НАПРАВЛЕНИЕТО „ДИНАМИКА НА СИСТЕМИТЕ“ ОТ СТРАНА НА ДРУЖЕСТВА В МИНЕРАЛНО-СУРОВИННИЯ ОТРАСЪЛ ПРИ РАЗРАБОТВАНЕТО НА ПОЛИТИКИ ЗА ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ

Димитър Кайков - kaykov.dimitar@kaolin.bg
„Каолин“ ЕАД, гр. Сеново, 7038

РЕЗЮМЕ

В настоящия доклад са анализирани основни методологични въпроси при приложението на направлението „Динамика на системите“ за оценката на политики за декарбонизация от страна на дружествата в минерално-суровинния отрасъл. Представен е концептуален модел, базиран на системите-архетипи „Успех за успяващите“ (“Success to the Successful”) и „Граници на успеха“ (“Limits to Success”) в контекста на формирането на политики за декарбонизация на две конкуриращи се дружества. Получените резултати илюстрират необходимостта от холистичен и интердисциплинарен подход при стратегическото управление на дружествата от минерално-суровинния отрасъл в контекста на ESG. В доклада е аргументирана възможната водеща роля на направлението „Динамика на системите“ за извършването на по-добра оценка на дългосрочните последици от политиките с цел формулирането на устойчиви решения в съвременните условия на комплексна и неопределена бизнес среда.

Ключови думи: системно мислене, динамика на системите, декарбонизация, устойчивост, равновесие

POSSIBILITIES FOR APPLYING A SYSTEM DYNAMICS APPROACH BY COMPANIES IN THE MINING INDUSTRY FOR THE DEVELOPMENT OF DECARBONIZATION POLICIES

Dimitar Kaykov - kaykov.dimitar@kaolin.bg
„Kaolin“ EAD, Senovo, 7038

ABSTRACT

This paper analyzes the methodological applicability of System Dynamics in evaluating and developing decarbonization policies within the companies in the mining industry. A conceptual model is presented, based on the system archetypes "Success to the Successful" and "Limits to Success," in the context of comparing the decarbonization policies of two competing companies. The results illustrate the need for a holistic and interdisciplinary approach to strategic management of the companies in the mining industry within the ESG framework. Moreover, the paper discusses the need for a systematic approach to improving the assessment of long-term policy impacts, based on Systems Thinking and System Dynamics. This approach enables a more coherent way of making sustainable decisions in the current complex and uncertain business environment.

Key words: systems thinking, system dynamics, decarbonization, sustainability, stability

Въведение

Процесът на трансформация на минерално-суровинния отрасъл към устойчиво развитие все повече се ръководи от ESG принципи, инвестирането в енергийно ефективни мощности, използването на възобновяеми източници на енергия и от нормативни изисквания, произтичащи от регулаторната рамка на ЕС и ООН, в т. ч. Европейската зелена сделка [12], Парижкото споразумение [13] и Стандарта за корпоративна отчетност на парникови газове (GHG Protocol Corporate Standard) [11]. Въпреки ясно



поставените цели за намаляване на въглеродния отпечатък чрез редуциране на директните (Обхват 1) и индиректните (Обхват 2 и 3) емисии на парникови газове (ПГ) за дружествата, извън академичните среди недостатъчно дискутиран е въпросът за използването на системен подход при оценката на въздействието на политиките върху пазара, минерално-суровинния отрасъл и отделните дружества.

В терминологично отношение понятието „устойчивост“ е изключително широко, тъй като то има смислови нюанси в контекста на своето приложение. Например понятията „sustainability“ (устойчивост в смисъл на ESG) и „stability“ (устойчивост в по-общ смисъл на равновесие и Теория на системите) се явяват тясно свързани с дейността на едно дружество от минерално-суровинния отрасъл, като една от основните роли на политиките по устойчивост, и в частност по декарбонизация, е именно да се идентифицират сложните вътрешни взаимодействия в самите дружества, както и взаимодействията им с техните контрагенти, имащи отношение към жизнения цикъл на продукцията (партньори, доставчици и клиенти). При работа с подобни сложни взаимоотношения липсата на системен подход ограничава ефективността на политиките и може да доведе до непредвидени или дори противоположни на очакваните резултати. Поради тази причина в настоящия доклад понятието „устойчивост“ е разгледано двустранно – в ESG контекст и в по-общ план – от гледна точка на Теория на системите.

Системното мислене и направлението „Динамика на системите“ в контекста на политиките за декарбонизация на дружествата в минерално-суровинния отрасъл

Проблемът за намаляването на въглеродния отпечатък в минната индустрия все още не е достатъчно изяснен в контекста на множеството взаимосвързани технологични, икономически, регулаторни и социални ограничения [9]. Минните дружества оперират в изключително сложна среда, в която усилията за декарбонизация често се сблъскват с конкуриращи се цели и стратегически приоритети, напр. необходимост от достъп до разкрити и подготвени запаси, осигуряване на финансова устойчивост, опазване на околната среда, спазване на здравословни и безопасни условия на труд, поддържане на доверие сред местната общност и удовлетворяване на изискванията на законодателството и клиентите, както и мн. др. [9].

От друга страна политиките за декарбонизация в минерално-суровинния сектор могат да включват мерки като електрифициране на използваната мобилна механизация, изграждане на собствени мощности за възобновяема ел. енергия (соларни паркове, ветрогенератори), оптимизация на транспортните схеми с цел намаляване на емисиите при транспорт на продукцията, въвеждане на цифрови двойници и др. [5]. Основните количествени и качествени показатели за проследяване на изпълнението на възприетата политика са т. нар. KPI (Key Performance Indicators), които най-често са свързани с въглеродната интензивност на продукцията, енергийната ефективност, дела на възобновяемите енергийни източници от общото количество използвана ел. енергия, емисиите по целия жизнен цикъл на продукцията и т. н. [3]. Може да се твърди, че до голяма степен използваните KPI за политиката на декарбонизация имат отношение и към голяма част от дейностите на дружествата от минния отрасъл, свързани с дългосрочното и краткосрочното планиране на минните работи, инвестиционната политика, планирането на ремонтните дейности, политиката по управление на качеството, стратегията за дигитализация на дружеството и т.н. [1].

За да се разберат сложните зависимости между процесите и отделните KPI, системното мислене и направлението „Динамика на системите“ се оказват ценен инструмент за описание и моделиране на причинно-следствените връзки, за идентифициране на обратните връзки в системата, както и закъсненията и скритите ефекти (често оставащи пренебрегнати при традиционното стратегическо планиране, базирано на линейно мислене). Системното мислене разглежда явленията не като изолирани събития, а като резултат от взаимодействието между зависими елементи. Чрез идентифициране на подсилващите (положителни) и стабилизиращите (отрицателни) връзки, този подход позволява концептуалното изследване и прогнозиране на поведението на системата във времето [1].

Направлението „Динамика на системите“ (System Dynamics) е интердисциплинарен подход, базиран на математическо моделиране и анализ на поведението на комплексни системи [2, 4]. То



използва понятието „запаси“ (stocks) за натрупвани или изчерпвани величини и понятието „потоци“ (flows) за процеси, които захранват или разходват „запасите“ [2]. Освен това моделите включват математическо изражение на времевите закъснения и евентуалните импулсни въздействия (имитиращи внезапното настъпване на нежелани ситуации), което позволява извършването на разнообразни симулации на дългосрочното поведение на системата в различни условия [2]. В „Динамика на системите“ са залегнали и т. нар. „меки“ променливи, които отчитат трудно измерими, но съществени за поведението на системата параметри като нагласи, възприятия, мотивация и репутация [10]. Характерна черта за създаваните модели от това направление е, че дори при използването на сравнително прости структури, те могат да възпроизведат сложно, нелинейно поведение, наблюдавано и за реалните производствени системи. Именно това прави направлението приложимо в редица области като енергетика, здравеопазване, икономика, финанси, медицина и опазване на околната среда [6]. В този смисъл, при изграждането на подобен клас динамични модели, отделни KPI по ESG политиката могат да бъдат интерпретирани като „запаси“, чието изменение се влияе от вътрешните и външните потоци, в т. ч. политики, пазарни условия, технологични иновации и др. Така се създава по-добра основа не само за проследяване, но и за стратегическо управление на системата чрез експерименти и оценка на ефекта от дадени политики в условията на виртуална среда [3].

Роля на моделите-архетипи при политиките за декарбонизация

С цел да се илюстрира приложението на „Динамика на системите“ в контекста на въвеждането на различни политики, целящи намаляването на въглеродния отпечатък на дадено минно-добивно дружество, като отправна точка е подходящо прилагането на архетипни модели. Самите архетипи от направлението „Динамика на системите“ представляват стереотипни ситуации или шаблони, които могат да бъдат използвани като първоначален модел за изясняване на механизма на причинно-следствените връзки между елементите и процесите в системата [7, 8]. Необходимо е да се уточни, че основната цел на архетипите е обогатяването на текущото разбиране за начина, по който функционира дружеството като система. По този начин те помагат за по-доброто идентифициране на подходящи „постове“ за въздействие, както и възможната съпротива при тяхното използване. След изясняването им и отчитането на позитивните и негативните последици за водещите показатели за изпълнение (KPIs) може да се пристъпи към създаването на по-сложен модел. Неговата роля е да се симулира прилагането на дадена политика, с която целенасочено се въздейства на приетите показатели във времето.

Типичните архетипи от „Динамика на системите“, които могат да намерят приложение при проблема за воденето на устойчива политика в контекста на декарбонизацията на дадено дружество от минно-добивния отрасъл са представени на Таблица 1.

Таблица 1. Системи-архетипи от „Динамика на системите“ и тяхното приложение при воденето на политика по декарбонизация на дружества в минерално-суровинния отрасъл

Наименование на архетипа	Описание	Пример
Граници на успеха (Limits to Success)	По-големите успехи водят до необходимостта от по-големи усилия за тяхното поддържане и надграждане	Ефектът от политиката по намаляване на въглеродния отпечатък на дружеството постепенно намалява поради външни или вътрешни ограничения (напр. недостиг на ресурси, слабо развит пазар)
Ръст и недостиг на инвестиции (Growth and Underinvestment)	Недостатъчните и ненавременните инвестиции за увеличаване на капацитета спират растежа	Ненавременният преход към използването на възобновяема ел. енергия ограничава (и дори намалява) пазарния дял на дружеството
Успех за успяващите (Success to the Successful)	Пренасочването на ресурси към по-печеливши страни увеличава тяхното конкурентно предимство	Силно ангажиран към ESG клиент започва преимуществено да купува суровина от ESG-ориентиран производител
Ескалация (Escalation)	Конкурирането на две страни довежда до нарастващата им ангажираност в стремежа за надмощие	Дружество, провокирано от своята конкуренция, се ангажира към политика за ESG, довеждащо до по-засилена ангажираност на конкурента към ESG



Наименование на архетипа	Описание	Пример
Изместване на целите (Drifting Goals)	Постепенно намаляване на целите като компромис на възникналите трудности при тяхното изпълнение	Намаляване на обхвата на директиви за предприятията, докладващи нефинансови ESG показатели
Пренасяне на тежестта / Зависимост (Shifting the Burden / Addiction)	Елиминирани на симптоматичния проблем, но не и на неговата първопричина	Дружество, закупуващо сертификати за зелен произход на използваната ел. енергия, пренебрегва влагането на средства в енергийно ефективни мощности, което довежда до повишаване на зависимостта от закупуване на сертификати в перспектива
Решения, които се провалят (Fixes that Fail)	Решения, довеждащи до непредвидими и нежелани проблеми в перспектива	Поетапно заместване на дизелов с електрически автопарк при неотчитане на евентуални проблеми с веригата на доставки на резервни части
Трагедията на общодостъпните ресурси (Tragedy of the Commons)	Прекомерна експлоатация на общодостъпен ресурс довежда до намаляването на ползите за всички участници в перспектива	Некоординирано участие на голям брой страни в енергиен арбитраж посредством системи за съхранение на ел. енергия, довеждащо до изглаждане на цените в пазарния сегмент и намаляване на печалбата за всеки участник

Нужно е да се уточни, че архетипите не бива да се тълкуват единствено в негативен или позитивен контекст. Те спомагат за разкриването на обективните ограничения на системата, както и текущите успешни или порочни практики от дружеството. Преди всичко, тяхната основна цел се явява идентифицирането и пренасочването на неефективно използваните ресурси на дружеството към дейности, които в действителност биха допринесли до постигането на така желаните резултати.

Примерен модел и интерпретация на получените резултати

Разгледан е условен пример за конкуренция между две дружества в минерално-суровинния отрасъл с различни стратегии за декарбонизация. Дружество А инвестира основно в технологии за повишаване на енергийната си ефективност и независимост, докато дружество В залага на закупуване на сертификати за гаранция на произхода на електроенергия от възобновяеми източници (Guarantees of Origin – GO). На таблица 2 е представен обобщен списък на използваните променливи за модела и вида на техните взаимовръзки, описващи поведението на дружество А и клиента за целите на примера. По аналогичен начин са дефинирани и променливите, отнасящи се до дружество В.

Таблица 2. Обобщен списък на параметрите на модела и вида на възприетите взаимовръзки между тях

Параметър	Тип променлива	Вид на зависимостта въз основа на предходните възли в насочения граф
Акумулирана репутация на А	Запас (Stock)	Интеграл от линейно уравнение
Акумулирани приходи на А	Запас (Stock)	Интеграл от линейно уравнение
Общо намаление на емисионния фактор (ЕФ) на продукцията на А	Запас (Stock)	Логистично избразжение (Logistic map)
Енергийна ефективност и независимост на А (на база капацитета на дружеството)	Запас (Stock)	Логистично избразжение (Logistic map)
Влияние върху емисионния фактор на продукцията на А	Спомагателна (Auxiliary)	Полиномна
Вложени средства за декарбонизация на А	Спомагателна (Auxiliary)	Линейна
Вътрешна съпротива за А	Спомагателна (Auxiliary)	Хиперболична
Забавен ефект върху ЕФ на продукцията на А (настъпва със закъснение от 2 г.)	Спомагателна (Auxiliary)	Линейна
Забавена информация за GO на А (настъпва със закъснение от 1 г.)	Спомагателна (Auxiliary)	Линейна
Забавена информация за намален ЕФ на продукцията на А (настъпва със закъснение от 1 г.)	Спомагателна (Auxiliary)	Линейна
Намаляване на репутацията на А	Спомагателна (Auxiliary)	Полиномна

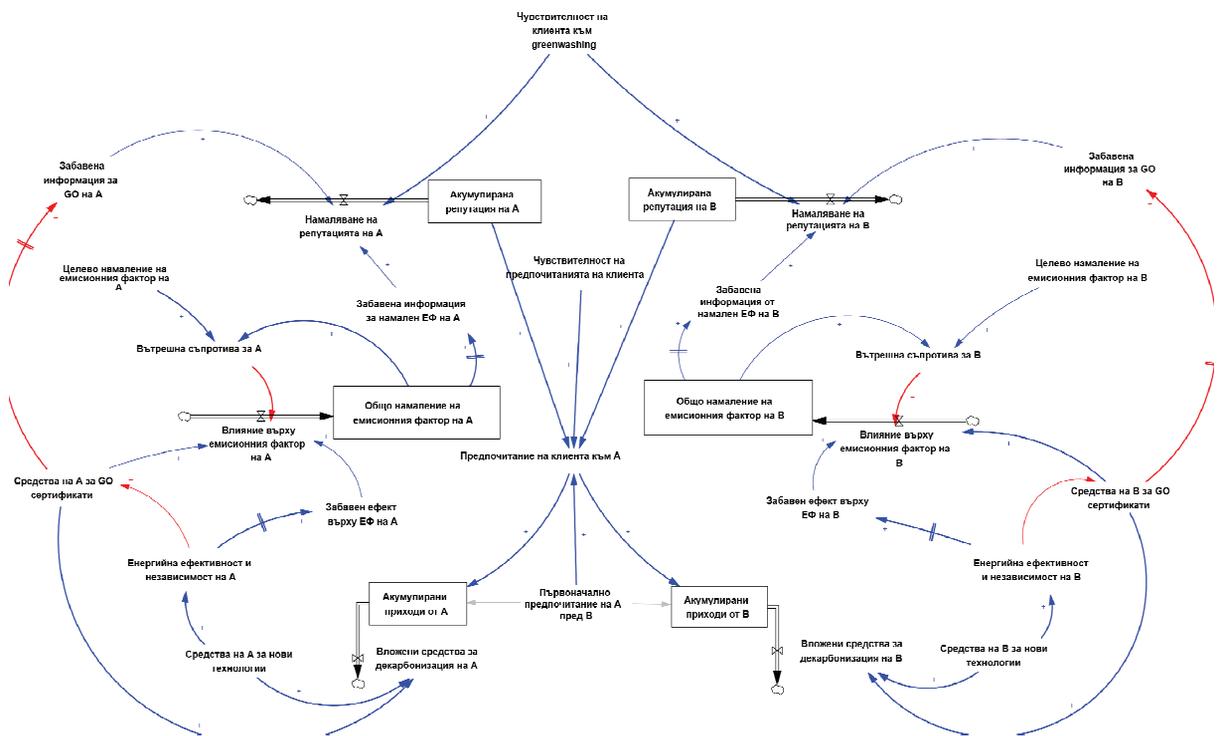


Параметър	Тип променлива	Вид на зависимостта въз основа на предходните възли в насочения граф
Предпочитание на клиента към А	Спомагателна (Auxiliary)	Сигмоидна функция
Средства на А за нови технологии	Спомагателна (Auxiliary)	Линейна
Средства на А за GO	Спомагателна (Auxiliary)	Линейна
Целево намаление на емисионния фактор на А (на база капацитета за намаление на дружеството)	Спомагателна (Auxiliary)	Константа
Чувствителност на клиента към greenwashing	Спомагателна (Auxiliary)	Константа
Чувствителност на предпочитанията на клиента	Спомагателна (Auxiliary)	Константа

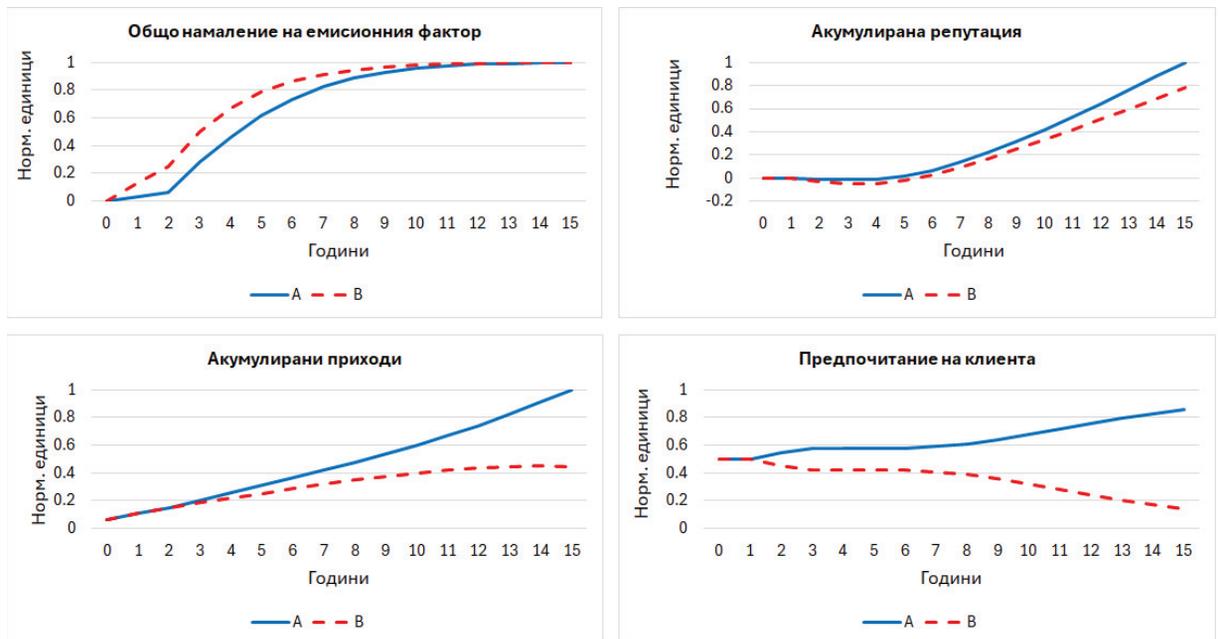
Прието е, че инвестициите на дружество А в по-енергийно ефективни технологии дават ефект след 2 години, докато при дружество В ефектът върху намаления въглероден отпечатък е незабавен. В модела е включена и „меката“ променлива *Чувствителност на клиента към greenwashing*, която влияе негативно на репутацията на дружеството-производител пред клиента, считащ GO за „козметично“ решение за създаването на по-привлекателен ESG профил, а не за фундаментално решение, базирано на по-енергийно ефективни технологии или собствени мощности за произвеждане на ел. енергия. Поради тази причина репутацията и на двете дружества зависи от емисионния фактор (коефициент) на продукцията и потенциала за „greenwashing“ по отношение на дела на използваната възобновяема енергия. И за двете дружества е прието, че разликата в структурата им се отразява върху тяхната репутация пред клиента със закъснение от 1 година, тъй като реалното намаление на емисионните фактори на продукцията настъпва преди неговото оповестяване пред клиента. За примера е допуснато, че клиентът избира единствено между А и В според динамиката на своите предпочитания, като всички останали параметри на модела са равни, на база допускането, че двете дружества работят при „равни други условия“. Другата „мека“ променлива в модела *Чувствителност на предпочитанията на клиента* отразява степента, с която репутацията на производителя влияе върху предпочитанията на клиента и респективно пазарния дял на производителя А.

В примера се проследяват три основни KPI – репутация, емисионен фактор и акумулирани приходи от реализация на продукцията, като и трите са представени като „запаси“ (stocks). Анализът се базира на системите-архетипи „Успех за успяващите“ и „Граници на успеха“. Моделирането е извършено със софтуерния продукт Vensim PLE 10.3.2 [14]. На Фиг. 1. е представена диаграма на структурата на примерния модел.

Дейността на двете дружества е проследена по отношение на следването на стратегическата цел за намаляване на емисиите на ПГ за период от 15-години, като ефектът от самата политика отслабва с приближаването към поставената цел. Освен това при намаляване на разликата между текущия въглероден отпечатък и целевото му ниво се очаква да намалее потребността от GO и респ. разходите за тях. След извършването на симулация по-пълно се разкриха практическия смисъл на архетипа „Успех за успяващите“ по отношение на показателите *Предпочитание на клиента* и *Акумулирани приходи*. На базата на така получените резултати се установи още, че при взаимодействието със силно ангажиран към ESG политика клиент, по-евтино решение, което на пръв поглед реализира по-бързото намаление на въглеродния отпечатък, би могло да доведе до влошаване на икономическите резултати на дружеството-производител. И двете конкуриращи се дружества в примера достигат своята цел по намаляване на емисиите на 1 t произведена продукция и до увеличаване на своята репутация, но изражението на последиците по отношение на другите икономически показатели са различни (Фиг. 2).



Фиг. 1. Диаграма на условия модел на конкуриращи се дружества в контекста на водене на политика по декарбонизация



Фиг. 2. Получени резултати за примерната симулация

При използване на други константи за модела се разкри, че при дадени условия дружество B би могло по-бързо да изпревари A по постигане на целта за намаляване на своя емисионен фактор, но това води до отклоняването на допълнителни ресурси от решаването на основния проблем – намаляващата енергийна ефективност на използваните технологии и до известна степен до първоначално по-рязко намаляване на репутацията на B пред клиента. По този начин закупуването на



GO сертификати може да доведе до зависимост от самите тях и моделът да се измени към архетипа „Пренасяне на тежестта / Зависимост“. В случая, ако дружество В не разбира напълно факторите, влияещи върху предпочитанията на клиента и формирането на пазарния си дял, стратегията за „позеленяване“ на използваната ел. енергия може да се окаже неефективна в дългосрочен план.

Интерес буди и резултатът за динамиката на клиентските предпочитания, които достигат до временно равновесие между 4-та и 7-ма година, но след това се променят значително в полза на дружество А от 8-ма година. Следователно преди настъпването на 8-ма година, от гледната точка на наблюдател в самата система, устойчивото (в смисъл на равновесно) състояние на системата освен, че може да бъде неблагоприятно за някое от дружествата (за примера – В), то може да бъде и привидно (в случая поради наличието на инфлексна точка през бъдещ период). Именно по този начин се илюстрира резултатът от воденето на политика с отложен ефект от страна на А. Ако В осъзнае грешката си и възприеме аналогична на стратегията на А, е възможна ескалация на тяхната конкуренция и достигане до ново равновесно положение по отношение на предпочитанието на клиента.

Не на последно място е необходимо да се подчертае, че всички получени резултати са илюстративни. За по-реалистична оценка на мащаба на въздействията, както и времето, в което дадените политики реализират своите положителни или отрицателни последици, е необходима по-прецизна настройка на модела. При разглеждането на алтернативни сценарии може да се очаква моделът да има коренно различно поведение и изводите да бъдат в полза на дружество В (напр. когато клиентът е индиферентен към обвинения в „greenwashing“). Това се дължи на естеството на подобни нелинейни модели, които са силно чувствителни към началните условия. Именно подобно поведение е характерно и за действителната система. Това от своя страна аргументира защо устойчивостта (в смисъл на ESG) на подобни системи е нееднозначна и изисква самостоятелен анализ във всеки конкретен случай.

Заключение

Въпреки широкото приложение на „Динамика на системите“ в бизнеса и социалните науки, основното предизвикателство на подобен клас модели е, че той по своето естество е затворен, за разлика от изучаваната система. Поради тази причина трябва да се отбележи, че подходът не изключва вземането на погрешни (макар и аргументирани) решения, тъй като той се базира на абдуктивни заключения, а не на строга дедукция. Именно затова разработването на подобен клас модели е необходимо да се извършва от екип опитни специалисти в различни научни и професионални области, които да дефинират ключовите причинно-следствени връзки и основните параметри на модела, имащи значение за дейността на дружеството.

Независимо от критиката, тези модели се ценят високо от редица специалисти заради логическата си последователност и способността си да анализират принципното поведение на системите и резултатите от различни политики значително по-ефикасно от често използваните в практиката умозрителни модели. Дори при използването на по-прости зависимости между променливите е възможно по-задълбочено да се анализира сложното поведение на системата. По този начин се позволява разкриването на неочаквани и дори на пръв поглед нелогични резултати при вземането на привидно адекватни решения без да се компрометира адекватността на модела. Освен това, на базата на подобни нелинейни модели може да се идентифицират отделни KPI, които са силно чувствителни и зависят до голяма степен повече от структурата на модела, а не до толкова от вида на приетите зависимости.

Както бе демонстрирано с условия пример, направлението „Динамика на системите“ притежава висок потенциал за приложение в контекста на разработването на политики по устойчивост (в смисъл на ESG), в т. ч. и на декарбонизация в минерално-суровинния отрасъл. Воденето на адекватна такава политика изисква на първо място възприемането на систематичен подход. На базата на примера се аргументира още и необходимостта от съвместното разглеждане на постигането на целевото намаляване на въглеродния отпечатък в контекста и на традиционни KPI (пазарен дял, приходи от реализация на продукцията и др.). Не на последно място, основната роля на направлението



се състои не във възможността точно да се прогнозира бъдещето, а то целенасочено да бъде създавано. Именно чрез подобен анализ дружествата от минерално-суровинния отрасъл биха могли проактивно да реализират устойчиви (в смисъла на ESG) политики, които по-пълно да отговарят на техните дългосрочни цели.

Използвани източници

1. Anderson, V., & Johnson, L. (1997). *Systems thinking basics: From concepts to causal loops*. Pegasus Communications.
2. Bala, B. K., Arshad, F. M., Kusairi, M. N. (2017). *System dynamics: Modelling and simulation*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-2045-2>
3. Becerra-Fernandez, M., Ruiz-Acosta, L. E., Camargo-Mayorga, D. A., & Muñoz, M. A. (2022). A system dynamics model for sustainable corporate strategic planning. *Production*, 32, <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20220011>
4. Forrester, J. W. (1994). System dynamics, systems thinking, and soft OR. *System Dynamics Review*, 10(2-3), 245–256. doi:10.1002/sdr.4260100211
5. Aydogdu, K., Duzgun, S., Yaylaci, E.D., Aranoglu, F. (2024). A Systems Engineering Approach to Decarbonizing Mining: Analyzing Electrification and CO2 Emission Reduction Scenarios for Copper Mining Haulage Systems. *Sustainability* 2024, 16, 6232. <https://doi.org/10.3390/su16146232>
6. Karamouz, M., Zare, M., Ebrahimi, E. (2023). System Dynamics-based Carbon Footprint Assessment of Industrial Water and Energy Use. *Water Resour Manage* 37, 2039–2062. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03473-5>
7. Kim, D. H. (2000). *Systems archetypes I: Diagnosing systemic issues and designing high-leverage interventions* (2nd ed.). Pegasus Communications.
8. Kim, D. H. (1994). *Systems archetypes II: Using systems archetypes to take effective action*. Pegasus Communications.
9. Nehring M, Knights P. A Systems Engineering Approach to Incorporate ESG Risks and Opportunities in Early-Stage Mine Design and Planning. *Mining*. 2024; 4(3):546-566. <https://doi.org/10.3390/mining4030031>
10. Roy, S., Mohapatra, P.K.J. (2003). Methodological Problems in the Formulation and Validation of System Dynamics Models Incorporating Soft Variables. Paper presented at the 21st International Conference of the System Dynamics Society, New York, July 20–24. *Proceedings of the System Dynamics Society*.
11. World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development. (2004). *The greenhouse gas protocol: A corporate accounting and reporting standard* (Revised edition). <https://ghgprotocol.org/corporate-standard> (последно достъпен на 30.06.2025 г.)
12. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (последно достъпен на 30.06.2025 г.)
13. <https://www.consilium.europa.eu/bg/policies/paris-agreement-climate/> (последно достъпен на 30.06.2025 г.)
14. <https://vensim.com/> (последно достъпен на 30.06.2025 г.)