

Вестник Самарского государственного экономического университета. 2025. № 10 (252). С. 60–68.
Vestnik of Samara State University of Economics. 2025. No. 10 (252). Pp. 60–68.

Научная статья
УДК 338.45:004.42

Моделирование принципов устойчивого развития предприятий металлургического комплекса на основе теории нечетких когнитивных карт

Леонид Дмитриевич Савенков

Тольяттинский государственный университет, Тольятти, Россия, leonidsavenkov89@yandex.ru

Аннотация. В статье представлена методология оценки стратегического потенциала предприятий металлургического комплекса в контексте устойчивого развития на основе теории нечетких когнитивных карт. Предложенный подход позволяет моделировать взаимосвязи между ключевыми принципами устойчивого развития: экологической ответственностью, инновациями и технологическим обновлением, социальной ответственностью. Проведено сценарное моделирование при различных начальных условиях, имитирующих умеренное развитие, инновационный акцент и экологический кризис. Результаты исследования демонстрируют высокую степень самоорганизации и взаимного усиления принципов устойчивого развития независимо от начальных условий, что свидетельствует о системной устойчивости данных компонентов в структуре стратегического потенциала. Предложенный инструментарий позволяет металлургическим предприятиям формировать эффективные стратегии развития в условиях возрастающих экологических вызовов и структурных изменений отрасли.

Ключевые слова: стратегический потенциал, устойчивое развитие, металлургический комплекс, нечеткие когнитивные карты, экологическая ответственность, социальная ответственность, инновации, сценарное моделирование, стратегическое планирование, ESG-стандарты

Основные положения:

- ♦ применение нечетких когнитивных карт позволяет эффективно моделировать взаимосвязи между экологической ответственностью, инновациями, технологическим обновлением и социальной ответственностью металлургических предприятий;
- ♦ три сценария (умеренное развитие, инновационный акцент, экологический кризис) показали высокую степень самоорганизации и взаимного усиления принципов устойчивого развития;
- ♦ все принципы устойчивого развития (экологическая и социальная ответственность, инновации) демонстрируют сильные положительные обратные связи и самоактивацию, независимо от начальных условий;
- ♦ методология, основанная на когнитивных картах, помогает металлургическим предприятиям формировать эффективные стратегии в условиях экологических и структурных вызовов.

Для цитирования: Савенков Л.Д. Моделирование принципов устойчивого развития предприятий металлургического комплекса на основе теории нечетких когнитивных карт // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2025. № 10 (252). С. 60–68.

Modeling the principles of sustainable development of metallurgical enterprises based on the theory of fuzzy cognitive maps

Leonid D. Savenkov

Togliatti State University, Togliatti, Russia, leonidsavenkov89@yandex.ru

Abstract. The article presents a methodology for assessing the strategic potential of metallurgical enterprises in the context of sustainable development based on the theory of fuzzy cognitive maps. The proposed approach allows to model the interrelationships between the key principles of sustainable development: environmental responsibility, innovation and technological upgrade, and social responsibility. The scenario modeling was carried out under various initial conditions, simulating moderate development, an innovative focus and an environmental crisis. The findings of the study demonstrate a high degree of self-organization and mutual reinforcement of the principles of sustainable development, regardless of the initial conditions, which indicates systemic stability of these components in the structure of strategic potential. The proposed techniques allow metallurgical enterprises to form effective development strategies under conditions of increasing environmental challenges and structural changes in the industry.

Keywords: strategic potential, sustainable development, metallurgical complex, fuzzy cognitive maps, environmental responsibility, social responsibility, innovation, scenario modeling, strategic planning, ESG standards

Highlights:

- ♦ the use of fuzzy cognitive maps allows for effective modeling of the relationships between environmental responsibility, innovation, technological upgrade and social responsibility of metallurgical enterprises;
- ♦ three scenarios (moderate development, innovative emphasis, environmental crisis) showed a high degree of self-organization and mutual reinforcement of the principles of sustainable development;
- ♦ all the principles of sustainable development (environmental and social responsibility, innovation) demonstrate strong positive feedback and self-activation, regardless of the initial conditions;
- ♦ the methodology based on cognitive maps helps metallurgical enterprises shape effective strategies under conditions of environmental and structural challenges.

For citation: Savenkov L.D. Modeling the principles of sustainable development of metallurgical enterprises based on the theory of fuzzy cognitive maps // Vestnik of Samara State University of Economics. 2025. No. 10 (252). Pp. 60–68. (In Russ.).

Введение

В. Okoli и U. Onwubuya изучали степень использования принципов стратегического планирования всеобщего управления качеством малыми и средними предприятиями для повышения эффективности работы в штате Анамбра [1].

Н. Pavlenchuk в своем исследовании пришел к выводу, что существующий рыночный механизм не способен обеспечить конкурентную среду из-за того, что производство продукции осуществляется не на рынке, а хозяйствующими субъектами [2].

Н. Fisher описывает подход к внедрению стратегического планирования на предприя-

тия целью созданию ценности для ключевых заинтересованных сторон предприятия [3].

Исследования М. Lisiński и М. Šaruckij подтвердили, что лишь небольшое количество компаний по разным причинам используют методы стратегического планирования на практике [4].

Принципы оценки стратегического потенциала предприятий включают ресурсный подход, результаториентированный подход и стратегический подход. Эти принципы сосредоточены на оценке упорядоченного набора ресурсов и резервов, эффективности использования ресурсов и системе факторов и условий, необходимых для стратегической деятельности [5].

В настоящее время устойчивое развитие – это не просто желание, а необходимость. Эта типология развития и роста, сквозная для всех дисциплин и областей, связанных с менеджментом и территориальным управлением, основана на процессе стратегического планирования, поэтому важным становится вопрос планирования и управления долгосрочным устойчивым развитием [6].

Глобальные изменения в сфере технологий и средств производства, от которых зависит эффективность деятельности компаний, меняют требования к необходимым ресурсам (трудовых и интеллектуальных ценностей и т.п.) систем (образования, науки и т.п.), а также к различным объектам социальной и инженерной инфраструктуры [7].

Принципы, описанные в Федеральном законе от 28.06.2014 № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации», представляют собой основополагающие принципы, на которых строится система стратегического планирования на макроуровне, однако данные принципы могут быть применены и для микроуровня – то есть в компаниях.

Для предприятий металлургического комплекса России устойчивость является важнейшим аспектом стратегического потенциала. Поэтому, кроме основных принципов, для оценки стратегического потенциала компании, по мнению автора, необходимо руководствоваться следующими принципами.

Принцип устойчивого развития. Стратегическое планирование должно включать долгосрочные цели, направленные на сокращение негативного воздействия на окружающую среду (внедрение технологий снижения выбросов), а также на улучшение социального климата в регионах присутствия.

Принцип экологической ответственности. В рамках устойчивого развития металлургические предприятия должны активно внедрять экологически чистые технологии, минимизировать использование ресурсов и улучшать переработку отходов.

Принцип инноваций и технологического обновления. Устойчивое развитие требует постоянных инвестиций в инновации и новые технологии, что важно для повышения конку-

рентоспособности и снижения экологической нагрузки. Стратегические планы должны включать разработку и внедрение современных и энергоэффективных технологий, которые будут соответствовать требованиям к устойчивому развитию.

Принцип социальной ответственности. Помимо экологических аспектов, предприятия должны учитывать социальные факторы устойчивости, такие как соблюдение трудовых прав, создание безопасных условий труда, а также вклад в развитие социальных программ и инфраструктуры. Это также способствует улучшению корпоративной репутации и укреплению доверия со стороны общества.

Современная металлургическая промышленность переживает эпоху структурных изменений, связанных с необходимостью перехода к более устойчивым и экологичным производственным моделям. Усиление международных экологических требований, распространение стандартов ESG (экологическое, социальное и корпоративное управление), внедрение трансграничных углеродных налогов и активизация государственной климатической политики требуют от металлургических компаний пересмотра своих стратегий.

Методы

В этих условиях ключевым становится вопрос оценки развития стратегического потенциала предприятий отрасли с учетом факторов устойчивого развития. Однако традиционные методы стратегического анализа нередко оказываются недостаточными для моделирования сложных, взаимосвязанных и неопределенных процессов, характеризующих современную производственную систему.

В качестве альтернативного подхода в работе предложено использование метода нечетких когнитивных карт – гибкого инструмента, способного интегрировать качественные экспертные оценки и количественное моделирование. Этот подход позволяет формализовать взаимосвязи между ключевыми стратегическими факторами и проследить, как изменения в одном из них (например, в области декарбонизации) влияют на остальные.

Целью настоящего исследования является построение когнитивной модели стратегиче-

ского потенциала металлургических предприятий, реализация сценарного анализа на ее основе, а также формулирование практических рекомендаций для устойчивого развития отрасли в условиях экологических вызовов.

Матрица весов отражает интенсивность взаимосвязей между концептами, основанных на экспертных оценках и логике системной устойчивости. На этой базе было реализовано три альтернативных сценария, имитирующих различные условия развития металлургических предприятий:

♦ Сценарий 1: Умеренный импульс

Этот сценарий моделирует стабильную стратегическую среду, где предприятие придерживается целостного подхода, но не сталкивается с экстремальными вызовами («базовая траектория развития»).

♦ Сценарий 2: Акцент на инновации

Полностью соответствует приоритетам развития отрасли: технологическое обновление, цифровизация, переход к экологически чистым производствам.

Важен для оценки потенциала в условиях трансформации и импортозамещения.

♦ Сценарий 3: Экологический кризис

Ключевой сценарий с учетом реальных вызовов: углеродного регулирования, экологических стандартов, санкционного давления на поставки технологий и сырья.

Каждый сценарий реализован как начальная активация определенных концептов в матрице состояния, после чего модель итеративно рассчитывает распространение изменений по системе на протяжении 10 шагов. Матрица весов взаимовлияния концептов, разработанная на основе синтеза экспертных оценок и анализа отчетов по устойчивому развитию предприятий металлургической промышленности России, позволила выявить определенные закономерности в динамике принципов стратегического потенциала при различных сценариях развития. Активация концептов рассчитывалась по итерационной модели $A(t+1)=f(A(t)*W)$, где W — матрица весов, основанная на экспертных оценках в программном комплексе Wolfram Mathematica.

Результаты

Принцип «Устойчивое развитие» отражает способность организации к долгосрочному сбалансированному росту с учетом экономических, социальных и экологических аспектов деятельности.

Результаты численного моделирования (рис. 1) демонстрируют выраженную тенденцию к быстрой активации принципа устойчивого развития с последующей стабилизацией на уровнях, близких к максимальным (0.998). Примечательно, что по всем трем сценариям

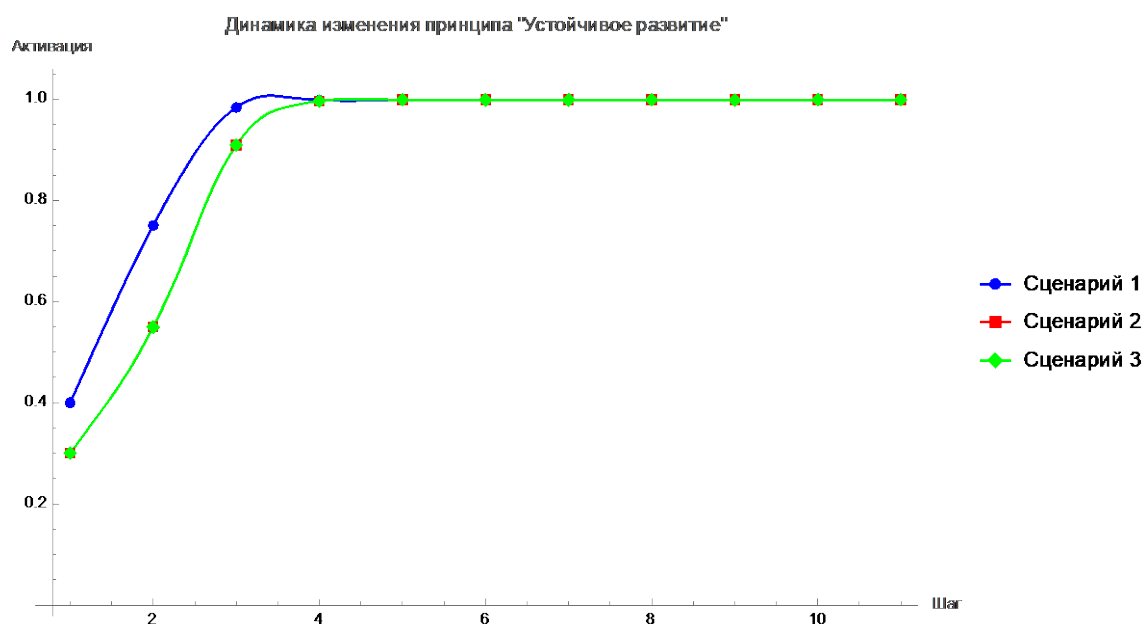


Рис. 1. Результаты численного моделирования динамики изменения принципа «Устойчивое развитие»

наблюдается схожая S-образная кривая роста, различающаяся лишь скоростью достижения зоны насыщения.

В сценарии 1 (синяя линия) с начальной активацией 0.4 наблюдается наиболее интенсивная динамика роста, достигающая значения 0.983 уже на втором шаге и стабилизирующаяся около 0.998 к третьему шагу. Сценарии 2 и 3 (зеленые линии), имеющие более низкую начальную активацию (0.3), показывают несколько замедленную, но также устойчивую тенденцию роста, достигая аналогичных показателей к 3–4 шагу моделирования.

Характерной особенностью динамики всех сценариев является стремительный переход от начальных значений к практически максимальным в течение первых 2–3 шагов, что свидетельствует о наличии в системе мощных положительных обратных связей, способствующих самоусилению данного принципа. После достижения зоны насыщения (значения выше 0.99) все сценарии демонстрируют высокую степень стабильности с минимальными флуктуациями на уровне тысячных долей.

Анализ числовых данных показывает, что к 10-му шагу значения активации составляют 0.9984719641634808 для сценария 1 и 0.9984689293116865 для сценариев 2 и 3, что говорит о практически идентичном конеч-

ном состоянии системы независимо от начальных условий.

Таким образом, принцип устойчивого развития можно охарактеризовать как высокоустойчивый и самоорганизующийся элемент стратегического потенциала, обладающий значительной «притягательной силой» даже при относительно низких начальных значениях активации. Это позволяет рассматривать устойчивое развитие как один из фундаментальных факторов при формировании долгосрочных стратегий предприятий в условиях сложной и динамичной внешней среды.

Результаты численного моделирования принципа «Экологическая ответственность» (рис. 2) продемонстрировали высокую степень конвергенции всех сценариев, несмотря на значительную разницу в начальных условиях. Особенно примечателен сценарий 3, стартующий с высокого начального значения активации (0.85), что может отражать исходно благоприятные условия для развития данного принципа.

В сценарии 1, при умеренной начальной активации (0.4), наблюдается существенный рост значения уже на первом шаге моделирования до 0.75, с последующим резким увеличением до 0.986 на втором шаге. Сценарий 2, начинающийся с более низкой активации

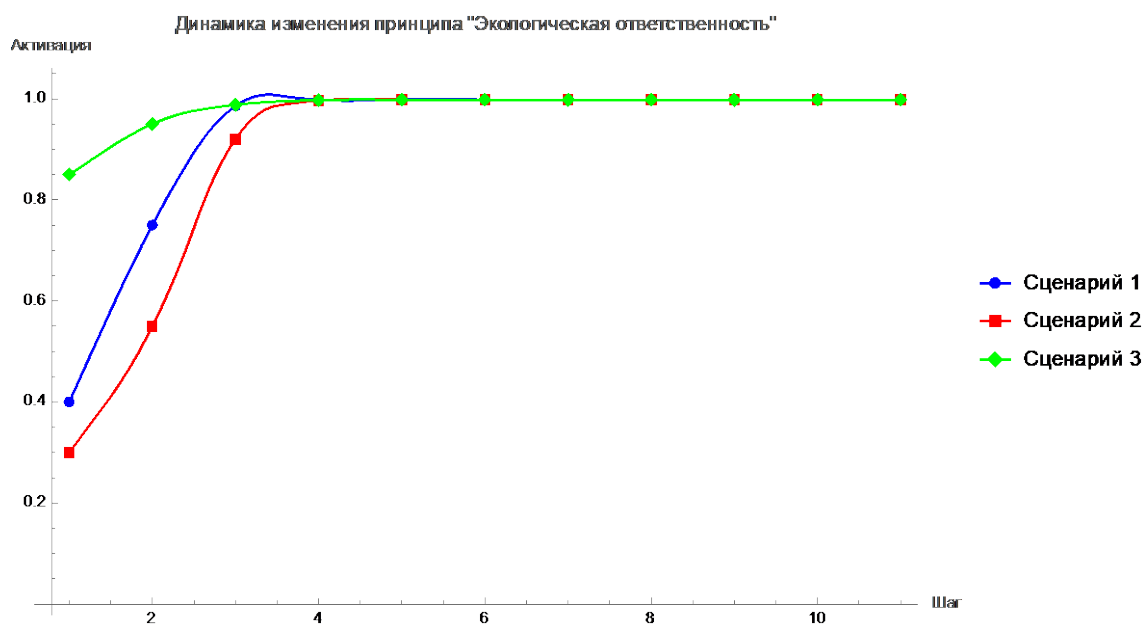


Рис. 2. Результаты численного моделирования динамики изменения принципа «Экологическая ответственность»

(0.3), демонстрирует аналогичную тенденцию, но с несколько замедленной динамикой на начальных этапах, достигая значения 0.921 ко второму шагу.

Характерной особенностью всех сценариев является быстрая стабилизация значений к третьему-четвертому шагу на уровне около 0.998, что указывает на наличие в системе сильных положительных обратных связей, способствующих устойчивой активации данного принципа независимо от начальных условий. Дальнейшая динамика характеризуется минимальными изменениями, что свидетельствует о достижении системой устойчивого состояния.

Примечательно, что к десятому шагу все сценарии демонстрируют практически идентичные значения (около 0.9984781 для сценария 1 и 0.9984781 для сценариев 2 и 3), что подтверждает робастность и универсальность рассматриваемого принципа в контексте моделируемой системы.

Таким образом, изучаемый принцип характеризуется высокой способностью к самоактивации и устойчивостью, что позволяет рассматривать его как ключевой элемент при формировании стратегического потенциала организации. Такая динамика свидетельствует о его фундаментальной роли в системе страте-

гических ориентиров и способности быстро интегрироваться в общую структуру стратегии независимо от исходных условий.

В рамках реализации когнитивной модели стратегического потенциала на базе нечетких когнитивных карт (Fuzzy Cognitive Maps, FCM) была исследована динамика активации принципа «Инновации и технологическое обновление» при различных сценарных условиях. Данный принцип отражает способность организации к внедрению новых технологий и инновационных решений в производственную и управленческую деятельность.

Результаты численного моделирования (рис. 3) демонстрируют высокую динамику роста и быструю стабилизацию показателя активации принципа во всех трех сценариях, несмотря на различные начальные условия. Характерной особенностью является достижение предельно высоких значений активации (около 0.998) уже к 4–5 шагу моделирования, что говорит о критической важности инновационной составляющей в формировании стратегического потенциала.

Сценарий 2 (красная линия), стартующий с наиболее высокой начальной активацией (0.8), показывает наиболее плавную траекторию роста и достигает стабилизации раньше других сценариев. Это свидетельствует о том,

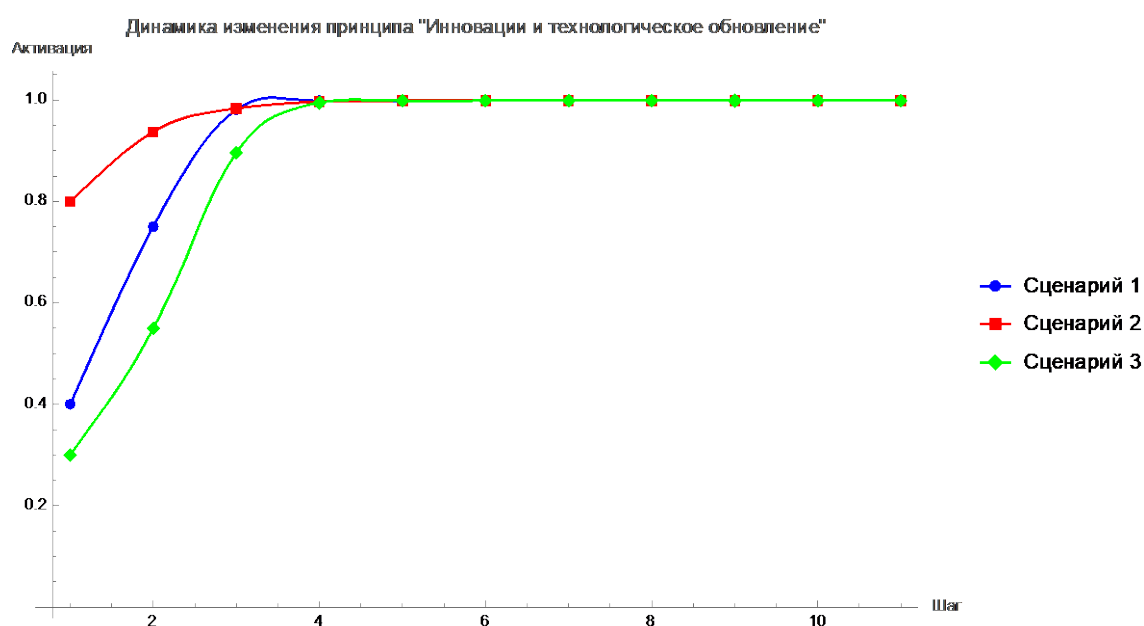


Рис. 3. Результаты численного моделирования динамики изменения принципа «Инновации и технологическое обновление»

что даже при изначально высоком уровне инновационной активности система продолжает самоусиливаться до определенного предельного уровня.

Сценарии 1 (синяя линия) и 3 (зеленая линия), начинающиеся с более низких значений активации (0.4 и 0.3 соответственно), демонстрируют более интенсивную динамику роста, что указывает на наличие в системе мощных положительных обратных связей, способствующих ускоренному развитию инновационного потенциала даже при неблагоприятных начальных условиях.

Особенно показательным является сценарий 3, где начальная активация составляет лишь 0.3, но уже к третьему шагу достигает значения 0.994, а к пятому шагу практически выравнивается с остальными сценариями. Это может свидетельствовать о наличии в системе «эффекта прорыва», когда даже при минимальных инновационных импульсах система способна быстро активизировать весь имеющийся инновационный потенциал.

Таким образом, принцип «Инновации и технологическое обновление» можно характеризовать как высокодинамичный, самоусиливающийся элемент стратегического потенциала, обладающий значительной устойчивостью и способностью к быстрой адаптации незави-

симо от начальных условий. Данный принцип может рассматриваться как один из ключевых драйверов развития предприятия в современных условиях трансформационной экономики, обеспечивающий конкурентное преимущество и устойчивость в долгосрочной перспективе.

В рамках исследования когнитивной модели стратегического потенциала на основе нечетких когнитивных карт была проанализирована динамика активации принципа «Социальная ответственность» при различных сценарных условиях. Данный принцип отражает интеграцию этических, социальных и экологических аспектов в стратегическую деятельность организации.

Результаты численного моделирования (рис. 4) демонстрируют высокую степень конвергенции всех сценариев к максимальным значениям активации, что указывает на устойчивость и значимость данного принципа в общей структуре стратегического потенциала. При этом наблюдаются существенные различия в траекториях роста для разных сценариев на начальных этапах моделирования.

Сценарий 2 (красная линия) характеризуется наиболее интенсивным ростом, достигая значения 0.99 уже ко второму шагу при начальной активации 0.3. Это может свиде-

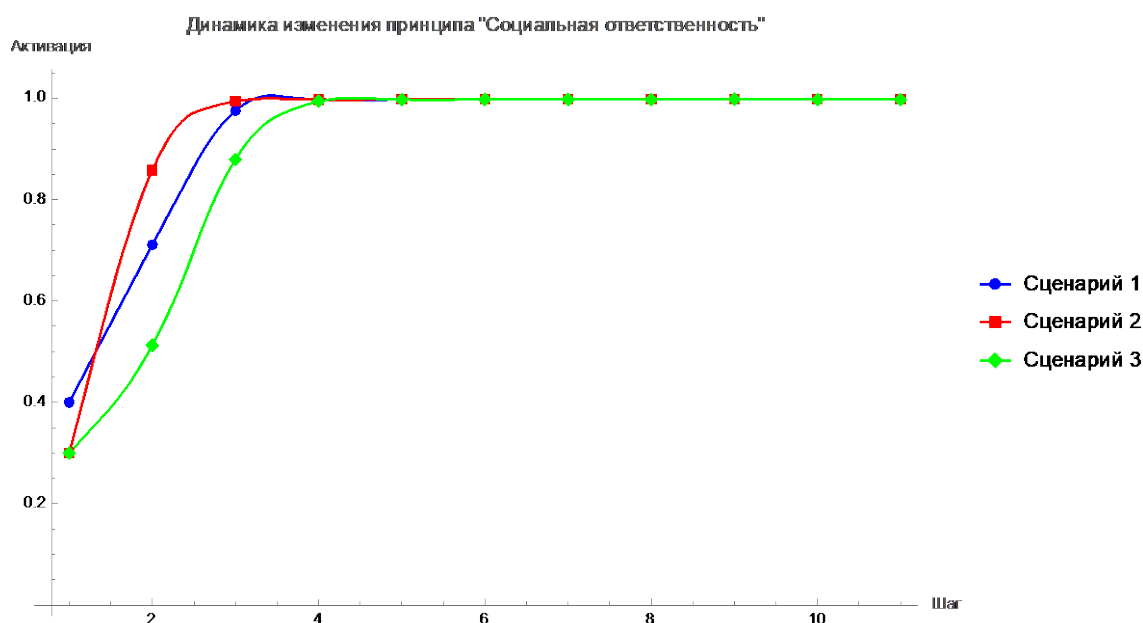


Рис. 4. Результаты численного моделирования динамики изменения принципа «Социальная ответственность»

тельствовать о наличии сильных катализирующих факторов в данном сценарии, способствующих быстрому распространению принципов социальной ответственности в системе стратегического управления.

Сценарий 1 (синяя линия), стартующий с более высокой начальной активации (0.4), демонстрирует умеренно интенсивный рост, достигая значений около 0.98 к третьему шагу. Сценарий 3 (зеленая линия), при идентичной со вторым сценарием начальной активации (0.3), показывает более плавную динамику роста, что может отражать наличие определенных ограничивающих факторов в данной конфигурации системы.

Особенно важно отметить, что к четвертому шагу моделирования все три сценария практически полностью конвергируют, достигая значений около 0.997, и далее демонстрируют высочайшую степень устойчивости. Такая динамика может интерпретироваться как проявление системной закономерности, при которой принцип социальной ответственности, будучи однажды интегрированным в стратегическую систему, становится ее неотъемлемым и самоподдерживающимся элементом.

Таким образом, принцип социальной ответственности может рассматриваться как эмерджентное свойство стратегического потенциала, обладающее высокой степенью устойчивости независимо от начальных условий и способное к интенсивному распространению в системе стратегического управления. Это делает социальную ответственность одним из ключевых факторов формирования устойчивых и адаптивных стратегий в современных условиях.

Обсуждение

Результаты моделирования демонстрируют высокую степень конвергенции всех принципов устойчивого развития (устойчивое развитие, экологическая ответственность, инновации и технологическое обновление, социальная ответственность) к максимальным значениям активации (около 0,998) независимо от начальных условий, что свидетельствует о системной устойчивости и взаимоусиливающим характере этих принципов.

Все исследуемые принципы характеризуются наличием мощных положительных обратных связей, способствующих их самоактивации даже при относительно низких начальных значениях. Особенно показательна динамика принципа «Инновации и технологическое обновление», который демонстрирует «эффект прорыва» даже при минимальных инновационных импульсах.

Сравнительный анализ трех сценариев (умеренного, инновационного и кризисного) показал, что наиболее интенсивная динамика роста наблюдается в сценарии с акцентом на инновации, что подтверждает ключевую роль технологического обновления как драйвера устойчивого развития металлургических предприятий.

Принципы экологической и социальной ответственности демонстрируют высокую степень интеграции в общую структуру стратегического потенциала, становясь его неотъемлемыми и самоподдерживающимися элементами. Это подтверждает гипотезу о том, что в современных условиях эти принципы переходят из категории «желательных» в категорию «необходимых» для обеспечения долгосрочной конкурентоспособности металлургических предприятий.

Заключение

Применение метода нечетких когнитивных карт позволило преодолеть ограничения традиционных методов стратегического анализа и создать динамическую модель, способную учитывать сложные взаимосвязи между различными аспектами устойчивого развития в условиях высокой неопределенности внешней среды.

Полученные результаты имеют практическую значимость для формирования стратегий устойчивого развития металлургических предприятий в условиях структурной трансформации отрасли, усиления экологических требований и необходимости технологической модернизации. Предложенная методология может быть адаптирована для применения в других отраслях промышленности, сталкивающихся с аналогичными вызовами устойчивого развития.

Список источников

1. Okoli B.E., Onwubuya U.N. Extent of Utilization of Strategic Planning Principles by Small and Medium Scale Enterprises for Improved Performance in Nigeria // International Journal of Education and Evaluation. 2022. Vol. 8, No. 6. Pp. 25–32. doi:10.56201/ijee.v8.no6.2022.pg25.32.
2. Research of competitiveness of the enterprise on the principles of strategic planning / N. Pavlenchuk, F. Horbonos, A. Pavlenchuk, R. Skrynkovsky // Technology Audit and Production Reserves. 2018. Vol. 5, No. 4 (43). Pp. 9–14. doi:10.15587/2312-8372.2018.146091.
3. Fisher N.I. Stakeholder Value as an Organizing Principle for Strategic Planning // Journal of Creating Value. 2018. Vol. 4, No. 1. Pp. 168–177. doi:10.1177/2394964318771251.
4. Lisiński M., Šaruckij M. Principles of the application of strategic planning methods // Journal of Business Economics and Management. 2006. Vol. 7, No. 2. Pp. 37–43. doi:10.1080/16111699.2006.9636122.
5. Жулина Е.Г. Стратегический потенциал региона и его инновационность // Бизнес и стратегии. 2018. № 1. С. 16–22.
6. Principles of strategic planning and rural tourism management in outermost territories: The case study of the azores archipelago / R.A. Castanho, G. Couto, P. Pimentel, C. Carvalho, Á. Sousa // RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao. 2020. No. E36. Pp. 30–41.
7. Shpachuk V.V., Kuleba O.V. Principles and features of strategic planning at the municipal level // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky University. Series "Public Administration". 2022. No. 1. Pp. 104–110. doi:10.32838/tnu-2663-6468/2022.1/18.

References

1. Okoli B.E., Onwubuya U.N. Extent of Utilization of Strategic Planning Principles by Small and Medium Scale Enterprises for Improved Performance in Nigeria // International Journal of Education and Evaluation. 2022. Vol. 8, No. 6. Pp. 25–32. doi:10.56201/ijee.v8.no6.2022.pg25.32.
2. Research of competitiveness of the enterprise on the principles of strategic planning / N. Pavlenchuk, F. Horbonos, A. Pavlenchuk, R. Skrynkovsky // Technology Audit and Production Reserves. 2018. Vol. 5, No. 4 (43). Pp. 9–14. doi:10.15587/2312-8372.2018.146091.
3. Fisher N.I. Stakeholder Value as an Organizing Principle for Strategic Planning // Journal of Creating Value. 2018. Vol. 4, No. 1. Pp. 168–177. doi:10.1177/2394964318771251.
4. Lisiński M., Šaruckij M. Principles of the application of strategic planning methods // Journal of Business Economics and Management. 2006. Vol. 7, No. 2. Pp. 37–43. doi:10.1080/16111699.2006.9636122.
5. Zhulina E.G. The strategic potential of the region and its innovation // Business and strategies. 2018. No. 1. Pp. 16–22.
6. Principles of strategic planning and rural tourism management in outermost territories: The case study of the azores archipelago / R.A. Castanho, G. Couto, P. Pimentel, C. Carvalho, Á. Sousa // RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao. 2020. No. E36. Pp. 30–41.
7. Shpachuk V.V., Kuleba O.V. Principles and features of strategic planning at the municipal level // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky University. Series "Public Administration". 2022. No. 1. Pp. 104–110. doi:10.32838/tnu-2663-6468/2022.1/18.

Информация об авторе

Л.Д. Савенков – кандидат экономических наук, доцент Института финансов, экономики и управления Тольяттинского государственного университета.

Information about the author

L.D. Savenkov – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Institute of Finance, Economics and Management of the Togliatti State University.

Статья поступила в редакцию 10.05.2025; одобрена после рецензирования 22.07.2025; принята к публикации 10.09.2025.

The article was submitted 10.05.2025; approved after reviewing 22.07.2025; accepted for publication 10.09.2025.