

Принятие решения по выбору паттерна инноваций при разработке стратегии промышленного предприятия в условиях неопределённости и риска

Владимир Чаплыгин¹, Вадим Мороз²

¹ Высшая банковская школа,
г. Гданьск, Польша

² Калининградский институт переподготовки кадров агробизнеса,
г. Калининград, Россия

Информация о статье

Поступила в редакцию:
12.10.2022

Принята
к опубликованию:
03.06.2023

УДК 338.45

JEL C51, L21, O32

Ключевые слова:

инновационная стратегия предприятия; паттерн инноваций; теория нечётких множеств; регрессионно-корреляционный анализ; метод IDOCRIW; серый реляционный анализ; метод TODIM.

Keywords:

innovative strategy of the enterprise; an innovation pattern; a theory of fuzzy sets; regression-correlation analysis; the IDOCRIW method; grey relational analysis; the TODIM method.

Аннотация

Исследование посвящено проблемам разработки методологии принятия решения по выбору паттерна инноваций в рамках разработки инновационной стратегии промышленного предприятия. Цель работы — выработка практических рекомендаций по выбору паттерна инноваций в условиях неопределённости и риска. Результаты работы: разработана методика принятия решения по выбору паттерна инноваций, основанная на сочетании двух методов принятия решений: серого реляционного анализа и метода TODIM, с определением весов оцениваемых критериев по методу IDOCRIW.

Developing the Strategy of the Industrial Enterprise under Uncertainty and Risk: Decision-Making on the Choice of an Innovation Pattern

Vladimir G. Chaplygin, Vadim N. Moroz,

Abstract

The study is devoted to the problems of developing a decision-making methodology for choosing an innovation pattern as part of the development of an innovative strategy for an industrial enterprise. The aim of the paper is to develop practical recommendations for choosing an innovation pattern under conditions of uncertainty and risk. As a result, a decision-making technique for choosing an innovation pattern has been developed, combining two decision-making methods: gray relational analysis and

the TODIM method, with the weights of the criteria determined with the IDOCRIW method.

В работе предложена методика выбора паттерна инноваций, основанная на сочетании двух методов принятия решения, в значительной мере представленных в работах, индексируемых в Scopus и Web of Science: серого реляционного анализа (grey relational analysis) и метода TODIM.

Представленные методы принятия решения предполагают определение весов оцениваемых критериев, характеризующих значимость каждого из них. Веса критериев предлагается рассчитывать по методу IDOCRIW. Данный метод представляет собой метод объективного установления весов критериев, основанный на определении степени доминирования значений каждого критерия с одновременной оценкой потерь по каждому критерию.

Предложенная методика позволяет проводить детальный анализ паттернов инноваций, выступающих в роли оцениваемых альтернатив, по всем используемым в оценке критериям, с учётом потерь, связанных с выбором каждой альтернативы.

Введение

В современных условиях основным инструментом обеспечения развития и конкурентоспособности на различных уровнях экономики является инновационная деятельность. В Стратегии научно-технического развития Российской Федерации в качестве одного из основных направлений реализации государственной политики в области научно-технологического развития Российской Федерации указана инфраструктура и среда, включая поддержку отдельных территорий (регионов) с высокой концентрацией исследований, разработок, инновационной инфраструктуры, производства и их связи с другими субъектами Российской Федерации в части, касающейся трансфера технологий, продуктов, услуг [5]. Вместе с тем, инновационное развитие региональной экономики тесно связано с инновационным развитием предприятий, расположенных на территории конкретного региона. Бизнес сегодня рассматривается как существенный элемент конкурентоспособной и устойчивой региональной инновационной системы [23].

Крупные промышленные компании являются локомотивом регионального инновационного развития и определяют его вектор. Й. Шумпетер отмечал значительную роль крупного бизнеса в инновационном развитии. По его утверждению, “наибольшего прогресса достигли не фирмы, работающие в условиях сравнительно свободной конкуренции, а крупные концерны, которые также способствовали успеху в конкурентном секторе“. В его работе “Капитализм, социализм и демократия” крупное предприятие рассматривается как наиболее мощный двигатель экономического прогресса и, в особенности, долговременного наращивания объёма производства [11].

В современных работах отмечается значительная роль крупных компаний в контексте регионального инновационного развития [9, 12, 22]. Если крупная фирма серьезно занимается исследованиями и разработками, и обладает абсорбционными способностями в той или иной технологической области, она создаёт положительные экстерналии для небольших инновационных компаний, действующих в данном регионе [9]. При этом под экстерналиями (externalities) понимаются внешние эффекты, а абсорбционные способности (absorptive capacity) представляют собой способность фирмы к восприятию и эффективному использованию внешнего знания. Такие фирмы называются “якорными арендаторами” (anchor tenant) [9, 12, 22]. Этот термин традиционно используется для обозначения большого магазина в крупном торговом центре, который создаёт дополнительный спрос для других магазинов [9, 12]. Благодаря узнаваемости брэнда “якорного арендатора”, другие магазины, расположенные в торговом центре, достигают больших объёмов прибыли по сравнению с иным месторасположением [22]. В региональном контексте “якорный арендатор” представляет собой локальную компанию, которая в значительной мере участвует в исследованиях и разработках и обладает абсорбционными способностями в определённой технологической области. Благодаря своему участию на локальных рынках технологий и наличию специализированных ресурсов, такая компания может распространять экстерналии на инновационные фирмы меньшего размера. Эти экстерналии могут способствовать применению малыми фирмами результатов университетских исследований и снижению их издержек, а также повысить их перспективы по обеспечению будущей рентабельности и роста. Наличие компании-“якорного арендатора” в регионе усиливает региональную инновационную систему, поскольку делает результаты исследований, проводимых местным университетом, способными к применению компаниями и стимулирует локальные промышленные исследования и разработки [12].

Роль “якорного арендатора” выполняют крупные технологически продвинутые компании, особенно в развивающихся отраслях. Такая компания обладает преимуществами размера в области внутренней экономики по масштабу, координации задач и управлению значительными информационными потоками. Наличие в регионе крупной компании, действующей в течение продолжительного периода времени, создаёт позитивный эффект агломерации, выраженный в формировании пула квалифицированной рабочей силы и концентрации специализированных ресурсов, которые могут принести выгоду фирмам меньшего размера. Существование “якорного арендатора” может способствовать нахождению вновь создаваемыми фирмами (стартапами) относительно стабильной рыночной ниши, что позволит им развиваться. Область деятельности и технологическая ориентация “якорного арендатора” влияет на технологическую траекторию этих стартапов [22].

Вместе с тем отмечается актуальность проблемы выбора паттерна инноваций именно для крупных промышленных предприятий. В работе

[35] выделены 4 основных потенциала крупных промышленных предприятий, обуславливающих их возможности в инновационной деятельности: ресурсный потенциал, основными элементами которого являются финансовый потенциал, включая собственный капитал, средства финансирования, дебиторскую задолженность и т.д., а также человеческий потенциал, включая управленческие кадры, инженерно-технических работников, высококвалифицированных рабочих и т.д.; производственный потенциал, включая потенциал исследований и разработок и потенциал в области изготовления конечного продукта, выраженный в имеющихся патентах, секретах производства, результатах исследований и разработок, производственных циклах и использовании передового оборудования; потенциал реализации выпускаемой продукции на рынке, включая рыночный и маркетинговый потенциал, а также результаты инновационной деятельности. Иными словами, рыночное воплощение технологического инновационного потенциала предприятия: управленческий потенциал, включая инновационную стратегию и инновационные механизмы. Из этого в данной работе [35] делается вывод о возможностях крупного предприятия для реализации различных моделей поведения на рынке и об актуальности выбора паттерна инноваций для таких предприятий.

Однако для выполнения крупными промышленными компаниями роли локомотива регионального инновационного развития необходимо обеспечение высокой эффективности их инновационной деятельности. Главным инструментом обеспечения эффективности инновационной деятельности любого предприятия является грамотная разработка инновационной стратегии с учётом как преимуществ, так и рисков, связанных с созданием и внедрением различных видов инноваций.

В работе предложена методика выбора паттерна инноваций как важной составляющей разработки инновационной стратегии крупного промышленного предприятия, основанная на сочетании двух методов принятия решения, в значительной мере представленных в работах, индексируемых в Scopus и Web of Science: серого реляционного анализа (grey relational analysis) и метода TODIM. Представленные методы принятия решения предполагают определение весов оцениваемых критериев, характеризующих значимость каждого из них. Веса критериев предлагается рассчитывать по методу IDOCRIW. Данный метод представляет собой метод объективного установления весов критериев, основанный на определении степени доминирования значений каждого критерия с одновременной оценкой потерь по каждому критерию. Предложенная методика позволяет проводить детальный анализ паттернов инноваций, выступающих в роли оцениваемых альтернатив, по всем используемым в оценке критериям с учётом потерь, связанных с выбором каждой альтернативы. Применение данного подхода будет способствовать принятию решения по выбору паттерна инноваций с наименьшим риском и наибольшей выгодой за счёт комбинирования преимуществ серого реляционного анализа и метода TODIM: установления близости

каждого паттерна к идеальной альтернативе и попарного сравнения альтернатив с учётом значимости потерь, а также ввиду учёта потерь как непосредственно в процессе принятия решения, так и при установлении веса каждого критерия. На региональном уровне применение предложенного подхода к выбору паттерна инноваций в рамках разработки инновационной стратегии крупных промышленных предприятий, являющихся ключевыми предприятиями региона и определяющих вектор его инновационного развития, будет способствовать обеспечению и поддержанию высокой эффективности деятельности, конкурентоспособности и устойчивости таких предприятий, что позволит им создавать положительные экстерналии для иных предприятий, осуществляющих инновационную деятельность на территории региона, и вносить существенный вклад в региональное инновационное развитие. Работа состоит из 4 разделов: введение, теория, методология и результаты исследования.

Теоретическая рамка исследования

Концепция паттернализации инноваций, представляющей собой их классификацию по паттернам применительно к промышленному предприятию, предложена японскими учёными У. Ацуда и др. [16]. Под паттернализацией инноваций понимается классификация инноваций по различным паттернам. Данные исследователи выделяют 4 паттерна инноваций.

Паттерн 1 характеризуется разработкой принципиально новых технологий и внедрением их в производство с ориентацией на новые производства, новую продукцию, новый рынок и создание новых преимуществ, в корне отличающихся от преимуществ, связанных с масштабным и устоявшимся клиентским потенциалом.

Паттерн 2 представляет собой инновации, нацеленные на создание нового рынка на основе применения существующих технологий, многократно используемых и модернизируемых, так называемых базовых технологий (*core technologies*). Основной целью инновационной деятельности в рамках паттерна 2 является обновление и развитие базовых технологий, в целях реализации, выпускаемой на их основе, продукции на новом рынке.

Паттерн 3. Разработка и применение принципиально новых технологий в целях создания принципиально новой продукции либо кардинального улучшения качества выпускаемой продукции. Основная цель инновационной деятельности — удовлетворение потребностей целевой аудитории на существующем рынке за счёт разработки и внедрения в производство новых технологий.

Паттерн 4. Повышение качества выпускаемой продукции на основе применения и постепенной модернизации базовых технологий (*core technologies*) с реализацией данной продукции на существующем рынке. Целью инновационной деятельности в рамках этого паттерна инноваций является создание добавленной стоимости за счёт реализации продукции на существующем устойчивом рынке.

С учётом представленной классификации по уровню новизны, паттерны инноваций могут быть сгруппированы. Два паттерна: паттерн 1 и паттерн 3 относятся к базисным инновациям, а два другие паттерна: паттерн 2 и паттерн 4 — к улучшающим инновациям. Для удобства дифференциации паттернов инноваций и проведения их анализа в целях выбора наиболее предпочтительного паттерна в рамках разработки инновационной стратегии промышленного предприятия, авторы предлагают их разделение таким образом, чтобы номера паттернов, относящихся к одному типу, в соответствии с классификацией инноваций по уровню новизны, стояли рядом. Поэтому предлагается поменять местами паттерн 2 и паттерн 3. Это также позволит их ранжировать по степени риска: вначале идёт паттерн 1, затем паттерн 2, далее паттерн 3 и завершает ранжирование паттерн 4.

Определение наиболее предпочтительного паттерна инноваций имеет важное значение для разработки инновационной стратегии промышленного предприятия, поскольку промышленным предприятиям необходима разработка инновационной стратегии с учётом направления деятельности компании, долгосрочных тенденций развития, анализа конкурентов, влияния внешней среды и альтернативных вариантов [2], а также на основе прогнозирования уровня риска [29], при этом, выбор типа инновационной стратегии определяет теория жизненного цикла продукта, позиция предприятия на рынке и проводимая научно-техническая политика [2]. Акцент промышленного предприятия на том или ином паттерне инноваций отражает долгосрочные тенденции развития предприятия, влияние внутренней и внешней среды, в особенности, клиентской среды, выраженное в готовности клиентов к приобретению инновационной продукции, обладающей определённым уровнем новизны, и зависит от позиции предприятия на рынке. Вместе с тем, каждый из паттернов характеризуется определённым уровнем риска и может рассматриваться в качестве альтернативного варианта. Из этого можно заключить, что выбор паттерна инноваций охватывает значительное число аспектов разработки инновационной стратегии промышленного предприятия.

Материалы и методы исследования

Основой инновационной деятельности любого предприятия является реализация инновационных проектов, поэтому авторы считают необходимым оценивать инновационные проекты, реализуемые предприятием, с позиции паттернов инноваций, в целях определения наиболее предпочтительного паттерна при разработке инновационной стратегии. Для характеристики инновационных проектов с позиции паттернов инноваций авторы предлагают использовать концепцию Г.М. Мутанова, Ж.С. Есенгалиевой [4] и теорию нечётких множеств. Они рассматривают инновационные проекты как объекты двух взаимодействующих сегментов: науки и бизнеса и предлагают рассматривать их как двухмерные объекты: инновационность (I) и конкурентоспособность (K). Вы-

числение значений этих критериев они предлагают проводить при помощи метода, основанного на определении средних значений оценок экспертов по каждому критерию инновационности и конкурентоспособности. К критериям инновационности они относят соответствие проекта приоритетным направлениям индустриально-инновационной стратегии, актуальность исследования и уникальность проекта, научную новизну предлагаемых в проекте решений, технологический уровень проекта (новая технология), преимущества проекта по сравнению с существующими аналогами в мире и экономическую целесообразность проекта. Общий показатель инновационности Г.М. Мутанов, Ж.С. Есенгадиева предлагают определять как [4] (1):

$$I_j = \sum_{i=1}^n x_i f_{ij}, \sum_{i=1}^n x_i = 1, \quad (1)$$

где f_{ij} — значение i -го критерия j -го проекта для показателя инновационности; x_i — значение весового коэффициента i -го критерия для показателя инновационности; n — число критериев для показателя инновационности, $n = 6$. Интервал значений общего показателя инновационности от 1 до 9.

Каждый из паттернов инноваций обладает собственным уровнем инновационности. Наиболее высокие значения уровня соответствуют паттерну 1, далее идёт паттерн 2, затем следует паттерн 3 и наиболее низким уровнем инновационности обладает паттерн 4.

Авторами также была проведена работа по подбору функций принадлежности для определения степени принадлежности инновационного проекта к определённому паттерну инноваций. Для этой цели необходима функция принадлежности $\mu(A)x$ “высокая инновационность”, характеризующаяся монотонным возрастанием и выделение на ней интервалов значений, соответствующих той или иной характеристике степени принадлежности к нечёткому множеству “высокая инновационность”, соответствующих конкретному паттерну инноваций. Авторы полагают, что следует выделить 4 приблизительно равных интервала, отвечающих определённой характеристике степени принадлежности и паттерну инноваций: “очень высокая”, интервал значений функции принадлежности $\mu(A)x$ $0,75 \leq \mu(A)x \leq 1$, паттерн 1; “высокая”, интервал значений функции принадлежности $\mu(A)x$ $0,5 \leq \mu(A)x < 0,75$, паттерн 2; средняя, интервал значений функции принадлежности $\mu(A)x$ $0,25 < \mu(A)x < 0,5$, паттерн 3; низкая, интервал значений функции принадлежности $0,1 \leq \mu(A)x \leq 0,25$, паттерн 4. Затем нужно выделить на универсальном множестве значений показателя инновационности интервалы значений, соответствующие каждой характеристике степени принадлежности к нечёткому множеству “высокая инновационность” и каждому паттерну инноваций. Авторами были опробованы различные монотонно возрастающие функции принадлежности, представленные в современной литературе [1, 7, 8]. Анализ различных функций принадлежности, применительно к нечёткому множеству “высокая инновационность”, показал, что наиболее чёткую и равномерную градацию паттернов инноваций на универсальном множестве значений показателя

инновационности даёт функция принадлежности класса γ , имеющая следующее математическое выражение (2):

$$\gamma = \begin{cases} 0 & \text{для } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{для } a \leq x \leq b \\ 0 & \text{для } x \geq b \end{cases} \quad (2)$$

В целях оценки паттернов инноваций и их значимости для конкретного промышленного предприятия в рамках разработки инновационной стратегии необходима оценка реализованных ранее инновационных проектов на предмет инновационности с последующим проведением регрессионно-корреляционного анализа зависимости основных показателей промышленного предприятия, характеризующих его экономический рост, от уровня инновационности реализуемого инновационного проекта. В качестве таких показателей авторами выделяются добавленная стоимость предприятия, производительность труда, доля рынка и капиталоемкость производства. Эти показатели в настоящей работе выделяются в качестве оцениваемых критериев. После проведения регрессионно-корреляционного анализа, отражающего данную зависимость, следует на основе полученных уравнений регрессии определить, какое значение каждого показателя можно ожидать при реализации инновационного проекта с наиболее высокой степенью принадлежности к каждому конкретному паттерну инноваций в соответствии с функцией принадлежности класса γ . Эти значения являются исходными данными для дальнейшего анализа. Важным условием их использования в качестве исходных данных является статистическая значимость параметров уравнений регрессии, на основе которых они получены, на уровне не ниже $p < 0,5$, принимаемом для экономических расчётов. Наиболее высокую степень принадлежности для паттернов 2, 3 и 4 авторы предлагают определять на основе бесконечно дифференцируемой гауссовой функции принадлежности с ограниченным носителем, выраженную следующей формулой (3):

$$\mu(x) = \begin{cases} \exp \frac{4(\lambda_2-x)(x-\lambda_1) - (\lambda_2-\lambda_1)^2}{4(\lambda_2-x)(x-\lambda_1)} & \text{для } \lambda_1 \leq x \leq \lambda_2, \\ 0 & \text{в других случаях} \end{cases} \quad (3)$$

где λ_1 и λ_2 , соответственно, нижняя и верхняя граница числового интервала.

Значение универсального множества (в данном случае, множества значений показателя инновационности), соответствующее наиболее высокой степени принадлежности к нечёткому множеству $\mu(x)$ “середина интервала”, в соответствии с этой функцией принадлежности, определяется по формуле (4):

$$x_1 = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}. \quad (4)$$

На основе формулы (4) были установлены значения множества значений показателя инновационности, соответствующие наиболее высокой степени принадлежности к паттернам инноваций 2, 3 и 4: паттерн 2–6, паттерн 3–4, паттерн 4–2. Однако в отношении паттерна 1 авторы полагают, что следует ориентироваться на функцию принадлежности класса γ “высокая инновационность”, поскольку инновации, основанные на разработке и применении принципиально новых технологий и формирующие новый рынок, соответствуют наиболее высоким значениям показателя инновационности и чем выше значение этого показателя, тем в большей мере оно отвечает таким инновациям. Из этого можно заключить, что наиболее высокой степени принадлежности к паттерну 1 соответствует значение множества значений показателя инновационности, равное 9, а множество значений показателя инновационности, соответствующих этому паттерну и находящихся, согласно функции принадлежности класса γ , в интервале 7–9, может рассматриваться в качестве α -сечения нечёткого множества “Высокая инновационность”, где $\alpha = 7$.

Авторами была предложена методика принятия решения по выбору паттерна инноваций, основанная на комбинации двух методов принятия решений, активно используемых в работах, индексируемых в базах Scopus и Web of Science: серого реляционного анализа (Grey relational analysis) и метода TODIM с определением весовых показателей оцениваемых критериев по методу IDOCRIW. Серый реляционный анализ был разработан J.L. Deng в 1982 г. Данный метод основан на теории серых систем (grey system theory). Теория серых систем была предложена J.L. Deng для ситуаций, в которых часть информации известна, а другая часть информации не известна [19]. Системы могут быть подразделены на 3 типа: белые, чёрные и серые. Информация в белых системах известна, в чёрных — неизвестна, а системы, где информация не полностью известна, называются серыми системами [26, 31]. Серый реляционный анализ используется в отношении проблем многокритериального принятия решений, поскольку решения, как правило, принимаются в условиях серого процесса, при отсутствии полной информации. Данный метод способствует решению таких проблем путём интегрирования различных значений критериев в единое значение [20, 31]. В основе метода лежит определение близости каждой отдельной альтернативы к идеальной альтернативе и принятие соответствующего решения [27]. В рамках серого реляционного анализа рассчитывается близость каждой альтернативы к идеальной по каждому из оцениваемых критериев, отражаемая серым реляционным коэффициентом (grey relational coefficient) и близость каждой альтернативы к идеальной альтернативе по совокупности критериев, отражаемая серым реляционным рангом (grey relational grade). При принятии решения в условиях неопределённости и риска, каковым является любое решение, касающееся инновационной деятельности, определение близости каждой альтернативы к идеальной, позволит выбрать альтернативу, близкую к наилучшей из имеющихся, по совокупности оцениваемых критериев. В контексте

настоящей работы это создаст возможность для выбора паттерна инноваций с наибольшей выгодой и наименьшим риском.

Метод TODIM в настоящее время является одним из наиболее распространённых методов принятия решения в условиях неопределённости и риска. Этот метод сфокусирован на способе принятия решения в условиях риска. Основная идея TODIM состоит в попарном сравнении альтернатив по каждому оцениваемому критерию [17, 32] с последующим определением степени доминирования каждой альтернативы над другими на основе получения обобщённого значения (overall value) и ранжирования альтернатив [15, 25, 34] с учётом отношения к риску лица, принимающего решение [24, 38], которое в рамках этого метода задаётся через специальный коэффициент — коэффициент сглаживания потерь (attenuation factor of losses), обозначаемый как θ , отражающий значимость потерь при выборе альтернативы для лица, принимающего решение. Такое ранжирование альтернатив, с точки зрения авторов, позволит детально оценить предпочтение альтернатив, при этом, учитываемое отношение к риску, отражаемое коэффициентом θ , может быть не только субъективным мнением лица, принимающего решение, но и иметь объективную основу в зависимости от уровня риска, обусловленного конкретной ситуацией.

Среди применяемых в настоящее время методов определения весов критериев методом, определяющим веса с учётом потерь по каждому критерию при принятии решения, является метод IDOCRIW. Он был разработан в 2016 г. Э. Завадасом и В. Подвезко [37] и получил распространение в работах, опубликованных в различных странах [13–15, 21, 28, 30]. Имеются работы, посвящённые применению метода IDOCRIW в экономической науке и практике [28, 33]. Данный метод получил название от английской аббревиатуры IDOCRIW: integrated determination of objective criteria weights — интегрированное определение объективных весов критериев. В основе метода IDOCRIW лежит комбинация метода энтропии и метода CILOS.

Метод энтропии оценивает структуру данных (элементов матрицы решений), указывающую на их неоднородность. В соответствии с этим методом, вес каждого отдельного критерия при однородных данных, т.е. в условиях, когда его значения различаются несущественно, будет близок к 0 и иметь слабое влияние на результаты оценки [30]. Наиболее высокое значение веса соответствует критерию с наиболее высокой степенью неоднородности данных [21].

Метод CILOS получил название от английской аббревиатуры CILOS: Criterion impact loss — потери влияния критерия. Базируется на концепции равновесия, предложенной Б.Г. Миркиным [3], которая впоследствии была развита Э.К. Завадасом и В. Подвезко [37]. Данная концепция основана на оптимуме Парето. Метод CILOS оценивает потери по всем критериям до достижения оптимума одним из критериев [36]. Основная идея CILOS состоит в том, что если по критерию потери незначительны, то вес его будет высоким, и наоборот: при высоких по-

терях по критерию, его вес будет низким [37]. Веса критериев на основе оценки потерь по каждому критерию в рамках метода CILOS определяется следующим образом. Формируется квадратная матрица, состоящая из нормализованных значений критериев для всех альтернатив, по главной диагонали которой размещаются наиболее высокие нормализованные значения каждого критерия. Затем из этих значений вычитаются другие значения каждого критерия с последующим делением на эти значения и формируется матрица относительных потерь влияния критериев (*relative impact loss matrix*), на основе которой, в свою очередь, создаётся весовая системная матрица. В этой матрице по главной диагонали располагаются отрицательные значения сумм потерь по каждому критерию, остальные значения идентичны значениям матрицы относительных потерь влияния критериев. В соответствии с методом CILOS веса критериев обозначается как $q_j, j = 1, \dots, n$ и устанавливается посредством решения системы уравнений $Fq^T = 0$, в которой сумма произведений элементов каждой строки весовой системной матрицы F и значений q_j для каждого критерия равна 0. Данная система уравнений решается при помощи оптимизации целевой функции $\sum_{j=1}^n q_j = 1$ в условиях ограничений $Fq^T = 0$. Вместе с тем, в работах последних лет [13, 14] представлен также иной метод определения весов критериев в рамках метода CILOS, который состоит в обращении весовой системной матрицы F и умножении обратной матрицы на ненулевой вектор, первый элемент которого имеет значение, близкое к 0, а остальные элементы равны 0, с последующим получением весового вектора. Значение первого элемента ненулевого вектора подбирается таким образом, чтобы сумма q_j была максимально близка к 1. При получении отрицательных числовых значений в весовом векторе за значения весов соответствующих критериев принимается модуль этих чисел. Авторами были проведены на 8 примерах вычисления по установлению весов критериев в соответствии с методом CILOS путём оптимизации целевой функции $\sum q_j=1$ в условиях ограничений $Fq^T = 0$ при помощи линейного программирования (метод симплекс), нелинейного программирования (метод обобщенного приведенного градиента), эволюционного поиска решения, а также посредством обращения весовой системной матрицы и умножения обратной матрицы на ненулевой вектор (расчёты были выполнены в MS Excel).

Результаты исследования и их обсуждение

Проведённые авторами вычисления по нахождению весов критериев по методу CILOS (q_j) в рамках применения метода IDOCRIW (см. таблицу) позволяют сделать следующий вывод: наиболее точным методом установления значений q_j на основе весовой системной матрицы F и системы уравнений $Fq^T = 0$ является метод симплекс. При применении этого метода во всех случаях, когда с его помощью удаётся найти допустимое решение, в наиболее полной мере соблюдаются ограничения $Fq^T = 0$ при соблюдении условия, выраженного целевой функцией

$\sum q_j = 1$. Из этого авторы полагают, можно заключить, что метод симплекс позволяет подбирать значения веса для каждого критерия по методу CILOS (q_j), в наибольшей мере нивелирующие потери по критериям при строгом соблюдении правила, действующего во всех методах определения весов критериев, согласно которому сумма весов критериев должна быть равна 1. Такое нивелирование потерь по критериям имеет особое значение при принятии решений в условиях неопределённости и риска, примерами которых являются все решения, принимаемые в процессе осуществления инновационной деятельности предприятия, включая решение по выбору паттерна инноваций при формировании инновационной стратегии. В то же время, как показывает таблица, встречаются случаи, при которых метод симплекс обнуляет значения q_j . В данных случаях значения q_j при соблюдении условия $\sum q_j = 1$ и максимальном выполнении ограничений $Fq^T = 0$ удаётся найти посредством метода обобщённого приведённого градиента. Однако в представленных примерах программа MS Excel в этих случаях также сообщает, что в ходе поиска не удалось найти допустимого решения. Обращение весовой системной матрицы F с последующим умножением обратной матрицы на ненулевой вектор даёт менее точные результаты, по сравнению как с методом симплекс, так и с методом обобщённого приведённого градиента ввиду того, что в соответствии с условиями нахождения весов критериев по методу CILOS все уравнения системы $Fq^T = 0$ должны быть равны 0 и, таким образом, вся правая часть системы уравнений Fq^T , на которую умножается обратная матрица при решении системы линейных уравнений матричным методом, должна быть равна 0, в то время как обратную матрицу приходится умножать на ненулевой вектор, первый элемент которого отличен от 0, поскольку в противном случае система уравнений Fq^T не может быть решена матричным методом. При этом, как видно из таблицы, никогда не удаётся достичь строгого равенства значения суммы q_j единице, а первый элемент ненулевого вектора, обеспечивающий максимальную близость суммы q_j к единице, может иметь значение, отдалённое от 0, например, 0,29. Кроме того, обращение весовой системной матрицы F возможно лишь в том случае, если её определитель не равен 0. Однако проведённое исследование показало, что в ряде случаев, когда при оптимизации целевой функции $\sum q_j = 1$ в условиях ограничений $Fq^T = 0$ ни один из методов не даёт допустимого решения. Значения q_j находятся посредством обращения весовой системной матрицы F с последующим умножением обратной матрицы на ненулевой вектор и наоборот, встречаются случаи, когда определитель весовой системной матрицы F равен 0, а значения q_j находятся при помощи оптимизации целевой функции $\sum q_j = 1$ в условиях ограничений $Fq^T = 0$. При этом наиболее точные значения даёт метод симплекс. В отношении обращения весовой системной матрицы F с последующим умножением обратной матрицы на ненулевой вектор авторами выявлена следующая закономерность: при равных по размеру весовых си-

стемных матрицах в случае весовой системной матрицы с более близким к 0 определителем максимальная близость суммы q_j к 1 обеспечивается более близким к 0 первым элементом ненулевого вектора. Это видно из таблицы.

Сопоставление определителя весовой системной матрицы с первым элементом ненулевого вектора

Пример	Размер весовой системной матрицы F	Определитель весовой системной матрицы F	Первый элемент ненулевого вектора, обеспечивающий максимальную близость суммы q_j к 1
1	4×4	0,00070861	0,0019
2	4×4	0,0039	0,032
3	4×4	-2,29451E-18	1,04E-17
4	4×4	-6,1906E-17	2,78E-17
5	4×4	-2,37682E-08	0,0000015
6	5×5	-1,34623E-06	4,76E-07
7	8×8	31 080,1678	0,29
8	8×8	-1,10767	0,00024

На основе результатов, представленных в таблице, логично предположить, что при значении определителя весовой системной матрицы, находящемся в интервале $0 < \det F < 1$, первый элемент ненулевого вектора, обеспечивающий максимальную близость суммы q_j к 1, будет существенно ближе к 0 по сравнению с первым элементом ненулевого вектора при значении определителя весовой системной матрицы $\det F > 1$. При этом, чем ближе к 0 первый элемент ненулевого вектора, тем точнее результаты определения значений весов критериев по методу CILOS (q_j), поскольку условия нахождения весов критериев в соответствии с этим методом предполагают равенство нулю уравнений системы Fq^T .

Исходя из представленных результатов, авторы предлагают следующие рекомендации по нахождению весов критериев при помощи метода CILOS в рамках применения метода IDOCRIW: первоначально следует использовать метод симплекс. Если путём метода симплекс удалось найти допустимое решение, то значения q_j , полученные в процессе применения этого метода, следует рассматривать как установленные значения весов критериев по методу CILOS. Если при помощи метода симплекс не удалось найти допустимого решения, следует использовать метод обобщённого приведённого градиента. Если в этом случае удалось найти допустимое решение посредством метода обобщённого приведённого градиента, то значения q_j , полученные в рамках данного метода, нужно принимать как установленные значения весов критериев по методу CILOS. Если метод обобщённого приведённого градиента, так же как метод симплекс, не дал допустимого решения, то дальнейшие действия следует определять в зависимости от соблюдения условия, выраженного целевой функцией $\sum q_j = 1$, и от значения определителя ве-

совой системной матрицы F . Если условие, выраженное целевой функцией $\sum q_j = 1$, в рамках метода обобщённого приведённого градиента не выполняется, при этом определитель весовой системной матрицы F не равен 0, то нужно обратить весовую системную матрицу, умножить обратную матрицу на ненулевой вектор и полученные значения q_j принять как установленные значения весов критериев по методу CILOS. Те же действия следует произвести в случае, если условие, выраженное целевой функцией $\sum q_j = 1$, выполняется. При этом значение определителя весовой системной матрицы F находится в интервале $0 < \det F < 1$.

Метод IDOCRiW интегрирует два метода: метод энтропии и метод CILOS с получением обобщённого весового коэффициента (single overall weight) [27, 36, 37]. В рамках данной интеграции метод CILOS компенсирует недостаток метода энтропии, поскольку при незначительном отличии значений критерия элементы матрицы относительных потерь влияния критериев в отношении этого критерия близки к 0, в то время как вес данного критерия возрастает и оказывает существенное влияние на оценку [21]. С точки зрения авторов, при принятии любого решения в условиях неопределённости и риска, включая решение по выбору паттерна инноваций при формировании инновационной стратегии предприятия, определение веса каждого оцениваемого критерия на основе оценки как различия между критериями и доминирования того или иного критерия, так и потерь по каждому критерию играет важную роль, поскольку позволяет детализировать установление весов критериев и снизить возможные потери при принятии решения за счёт изначального их учёта и таким образом оптимизировать риски. Такое определение веса критерия будет способствовать сбалансированному принятию решения и внесёт существенный вклад в установление баланса между выгодой от принятия решения (в данном случае — от выбора паттерна инноваций) и связанными с ним потерями, что повысит адекватность принятия решения и выбора, сделанного в его рамках.

Заключение

Предложенный в настоящей статье подход позволит в рамках разработки инновационной стратегии промышленного предприятия выбрать паттерн инноваций, с учётом как близости каждого паттерна к идеальной альтернативе, так и преимуществ каждого паттерна, выявляемых при их попарном сравнении с учётом потерь, связанных с выбором каждого паттерна инноваций, что позволит провести детальную оценку всех паттернов инноваций и выбрать паттерн с наименьшим риском. Выбор паттерна инноваций с наименьшим риском играет особую роль при разработке инновационной стратегии промышленного предприятия, поскольку сущность паттернов инноваций охватывает значительное число аспектов инновационной стратегии. Из этого можно заключить, что применение предложенной методики выбора паттерна инноваций позволит промышленному предприятию разработать инновационную стратегию с наименьшим риском и наибольшей выгодой в текущих условиях.

Методика может использоваться в любой отрасли промышленности, однако её применение наиболее актуально в новейших высокотехнологичных отраслях, которые характеризуются активным созданием и внедрением инноваций, таких как электронная промышленность, биоиндустрия, нанотехнологии и другие, где ввиду интенсивного развития при разработке инновационной стратегии проблематичен акцент на паттерн 4, характеризующийся последовательным и постепенным инновационным развитием и наименьшим риском, и наиболее свойственен упор на высокорисковые паттерны. Предложенная методика выбора паттерна инноваций при разработке инновационной стратегии промышленного предприятия является гибкой и способной к дальнейшему совершенствованию. В качестве одного из направлений совершенствования этой методики авторы рассматривают определение веса критерия, проводимое на основе комбинации метода IDOCRIW и метода CRITIC. Метод CRITIC основан на определении взаимосвязи каждого критерия с другими критериями, устанавливаемой при помощи применения аппарата математической статистики: коэффициента корреляции между каждой парой критериев и стандартного отклонения значений критерия, в отношении которого рассчитывается вес. Данная комбинация позволит устанавливать веса критериев с учётом как доминирования каждого критерия и потерь по каждому критерию, определяемых в рамках метода IDOCRIW, так и связи каждого критерия с другими критериями, идентифицируемой в процессе применения метода CRITIC, что является актуальным при оценке паттернов инноваций по представленным в настоящей статье критериям, поскольку среди этих критериев имеются взаимосвязанные критерии, например производительность труда прямо пропорциональна добавленной стоимости, ввиду того, что этот показатель в соответствии с Методикой расчёта показателей производительности труда предприятия, отрасли, субъекта Российской Федерации исчисляется как отношение добавленной стоимости к численности персонала. Таким образом, можно заключить, что предложенная методика обладает возможностями применения как на промышленных предприятиях, так и в экономической науке при разработке новых методик принятия решений, касающихся инновационной деятельности промышленных предприятий.

Список источников

1. Горемыкина Г.И., Дмитриевская Н.А., Мастяева И.Н. Экономико-математическое моделирование систем управления на основе нечёткой технологии. — М.: МЭСИ, 2014. — 139 с.
2. Исаева И.В. Инновационная стратегия развития промышленных предприятий // Вопросы экономических наук. 2009. № 6 (39). С. 40.
3. Миркин Г.Б. Проблема группового выбора. — М.: Наука, 1974. — 256 с.
4. Мутанов Г.М., Есенгалиева Ж.С. Метод оценки инновационности и конкурентоспособности инновационных проектов // Фундаментальные исследования: экономические науки. 2012. № 3-3. С. 712–717.
5. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации:

- указ Президента от 01.12.2016 № 642 // Гарант: справочно-правовая система (дата обращения: 30.05.2022).
6. Об утверждении Методики расчёта показателей производительности труда предприятия, отрасли, субъекта Российской Федерации и Методики расчёта отдельных показателей национального проекта “Производительность труда и поддержка занятости” (с изменениями и дополнениями): приказ Министерства экономического развития РФ от 28 декабря 2018 г. № 748 // Гарант: справочно-правовая система (дата обращения: 30.05.2022).
 7. Пегат А. Нечёткое моделирование и управление. — М.: БИНОМ; Лаборатория знаний, 2009. — 798 с.
 8. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы. — М.: Горячая линия – Телеком, 2006. — 452 с.
 9. Халимова С.Р. Оценка взаимосвязи инновационного развития крупных компаний и эффективности их деятельности // Регион: экономика и социология. 2017. № 2 (94). С. 210–228.
 10. Чаплыгин В.Г., Мороз В.Н. Математическое определение эффективности трансфера технологий // Экономика и математические методы. 2020. Т. 56. № 3. С. 136–144.
 11. Шумпетер Й. Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия. — М.: Эксмо, 2008. — 864 с.
 12. Agarwal A., Cockburn I. The anchor tenant hypothesis: exploring the role of large, local, R&D-intensive firms in regional innovation systems // *International Journal of Industrial Organization*. 2003. № 23. P. 1227–1253.
 13. Alao M.A., Popoola O.M., Ayodele T.R. Selection of waste-to-energy technology for distributed generation using IDOCRIW-Weighted TOPSIS method: A case study of the City of Johannesburg, South Africa // *Renewable Energy*. 2021. Vol. 178. P. 162–183. — DOI: 10.1016/j.renene.2021.06.031.
 14. Ali T. et al. Prioritizing the existing power generation technologies in Bangladesh’s clean energy scheme using a hybrid multi-criteria decision making model // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 267. P. 1–14. — DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121901.
 15. Alinezhad A., Khalili J. New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM) // *International Series in Operations Research & Management Science*. 2019. Vol. 277. 233 p. — DOI: 10.1007/978-3-030-15009-9.
 16. Atsuda U. et al. Management of technology: MOT. — Tokyo, SANNO University Publications Department, 2008. — 317 p.
 17. Chakraborty S., Chakraborty A. Application of TODIM (TOmada de Decisao Interativa Multicriterio) method for under-construction housing project selection in Kolkata // *Journal of Project Management*. 2018. No. 3. P. 207–216. — DOI: 10.5267/j.jpm.2018.3.002.
 18. Čereška A., Podvieszko A., Zavadskas E.K. Assessment of different metal screw joint parameters by using multiple criteria analysis methods // *Metals*. 2018. Vol. 8. No. 5. P. 1–16. — DOI: 10.3390/met8050318.
 19. Deng J. L. Control problems of grey system // *Systems and Control Letters*. 1982. Vol. 1. No. 5. P. 288–294. — DOI.org/10.1016/S0167-6911(82)80025-X.
 20. Deng J.L. Introduction to Grey System Theory // *The Journal of Grey System*. 1989. Vol. 1. No. 1. P. 1–24.
 21. Eslami V. et al. Multi-criteria Decision-making Approach for Environmental Impact Assessment to Reduce the Adverse Effects of Dams // *Water Resources Management*. 2021. — DOI: 10.1007/s11269-021-02932-1 (дата обращения:

- 28.03.2022).
22. Feldman M. The Locational Dynamics of the U.S. Biotech Industry: Knowledge Externalities and the Anchor Hypothesis. *Research and technological innovation: the Challenge for a new Europe* (ed. Curzio A.Q., Fortis M.). — Heidelberg: Physica-Verlag Heidelberg, 2005. — P. 201–224.
 23. Fernández-Serrano, J., Martínez-Román, J.A., Romero, I. The entrepreneur in the regional innovation system. A comparative study for high- and low-income regions // *Entrepreneurship and Regional Development*. 2019. Vol. 31. No. 5–6. P. 337–356. — DOI: 10.1080/08985626.2018.1513079.
 24. Hu J., Yang Y., Chen X. A Novel TODIM Method-Based Three-Way Decision Model for Medical Treatment Selection // *International Journal of Fuzzy Systems*. 2018. Vol. 20. No. 4. P. 1240–1255. — DOI: 10.1007/s40815-017-0320-3.
 25. Li M.-Y., Cao P.-P. Extended TODIM method for multi-attribute risk decision making problems in emergency response // *Computers & Industrial Engineering*. 2019. Vol. 135. P. 1286–1293. — DOI: 10.1016/j.cie.2018.06.027.
 26. Lin S.J. et al. Grey relation performance correlations among economics, energy use and carbon dioxide emission in Taiwan // *Energy Policy*. 2007. Vol. 35. No. 3. P. 1948–1955. — DOI: 10.1016/j.enpol.2006.06.012.
 27. Luo Y. et al. Tourism Attraction Selection with Sentiment Analysis of Online Reviews Based on Probabilistic Linguistic Term Sets and the IDOCRIW-COCOSO Model // *International Journal of Fuzzy Systems*. 2021. Vol. 23. No. 1. P. 295–308. — DOI: 10.1007/s40815-020-00969-9.
 28. Luo Y., Li Y. Comprehensive Decision-Making of Transmission Network Planning Based on Entropy Weight and Grey Relational Analysis // *Power System Technology*. 2013. Vol. 37. No. 1. P. 77–81.
 29. Minaeva E. et al. Formation of the strategy of management of innovation and investment activity of the enterprise // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 193. P. 1–7. — DOI: 10.1051/mateconf/201819305082.
 30. Podvezko V., Kildienė S., Zavadskas E.K. Assessing the performance of the construction sectors in the Baltic states and Poland // *Panoeconomicus*. 2017. Vol. 64. No. 4. P. 493–512. — DOI: 10.2298/PAN150518004P.
 31. Sarraf F., Neyad S.H. Improving performance evaluation based on balanced scorecard with grey relational analysis and data envelopment analysis approaches: Case study in water and wastewater companies // *Evaluation and Program Planning*. 2020. Vol. 79. P. 1–11. — DOI: 10.1016/j.evalprogplan.2019.101762.
 32. Sharaf I.M., Khalil E.A.-H.A. A spherical fuzzy TODIM approach for green occupational health and safety equipment supplier selection // *International Journal of Management Science and Engineering Management*. 2020. Vol. 16 (4). P. 1–13. — DOI: 10.1080/17509653.2020.1788467.
 33. Trinkūnienė E. et al. Evaluation of quality assurance in contractor contracts by multi-attribute decision-making methods // *Economic Research — Ekonomska Istrazivanja*. 2017. Vol. 30. No. 1. P. 1152–1180. — DOI: 10.1080/1331677X.2017.1325616.
 34. Wu W., Xu Z. Hybrid TODIM Method with Crisp Number and Probability Linguistic Term Set for Urban Epidemic Situation Evaluation // *Complexity*. 2020. Vol. 2020 (4). P. 1–11. — DOI: 10.1155/2020/4857392.
 35. Wu Z.-D., Wang M.-J., Song Y. Research on Selection from Pattern of Large-scale Coal Enterprises' Technological Innovation and Advice // *Coal Technology*. 2009. Vol. 28. No. 2. P. 1–3.
 36. Zavadskas E.K. et al. MCDM assessment of a healthy and safe built environment

- according to sustainable development principles: A practical neighborhood approach in Vilnius // *Sustainability*. 2017. Vol. 9. No. 5. P. 1–30. — DOI: 10.3390/su9050702.
37. Zavadskas E.K., Podvezko V. Integrated determination of objective criteria weights in MCDM // *International Journal of Information Technology and Decision Making*. 2016. Vol. 15. No. 2. P. 267–283. — DOI: 10.1142/S0219622016500036.
38. Zhang W., Du J., Tian X. Finding a promising venture capital project with TODIM under probabilistic hesitant fuzzy circumstance // *Technological and Economic Development of Economy*. 2018. Vol. 26. No. 5. P. 2026–2044. — DOI: 10.3846/tede.2018.5494.

Сведения об авторах / About authors

Чаплыгин Владимир Германович, доктор экономических наук, профессор, Высшая банковская школа. 80-266, Польша, Гданьск, Аллея Грюнвальдзка, 238А. E-mail: vchaplygin@wsb.gda.pl.

Vladimir G. Chaplygin, Doctor of Economic Sciences, Professor of WSB University in Gdansk. Bld. 238A, Aleja Grunwaldzka, Gdansk, Poland, 80-266 E-mail: vchaplygin@wsb.gda.pl.

Мороз Вадим Николаевич, кандидат экономических наук, доцент Калининградского института переподготовки кадров агробизнеса. Россия, 236038, г. Калининград, ул. Молодой Гвардии, 2 E-mail: morozvadim@rambler.ru.

Vadim N. Moroz, PhD in Economic Sciences, Associate Professor, Kaliningrad Institute of Retraining of Agribusiness Personnel. Bld. 2, Molodaya Gvardii str., Kaliningrad, Russia, 236038. E-mail: morozvadim@rambler.ru.