



Научная статья

<https://doi.org/10.32523/3136-3385-2026-155-2-145-162>

Кластерная платформа как центр компетенций цифровизации на основе модели «multilevel integrated helix-ecosystem model»

**М.М. Идрисов¹  , С.Е. Бекжанова*¹  , Д.З. Бекжанов²  ,
А.В. Мухаметжанова³ **

*¹Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К. Сатпаева, Алматы, Казахстан*

*²Костанайский инженерно-экономический университет имени М. Дулатова,
Костанай, Казахстан*

*³Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, Астана,
Казахстан*

*E mail: idrisov.m@stud.satbayev.university, bekzhanova@satbayev.university
Dinar.bekzhanov@mail.ru mukhametzhanova_av@enu.kz*

Аннотация. В статье рассматривается концепция кластерной платформы как центра компетенций цифровизации транспортной отрасли на основе модели MINEM (Multilevel Integrated Helix-Ecosystem Model). Предложенная модель объединяет элементы тройной, четверной и пятерной спирали с экосистемным подходом, обеспечивая многоуровневое взаимодействие между участниками цифровой трансформации. Определены функциональные модули платформы, включающие подготовку кадров, координацию научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, трансфер технологий и развитие цифровой инфраструктуры. Представлены результаты концептуального моделирования и обсуждаются перспективы применения модели MINEM для создания устойчивых цифровых экосистем в транспортной сфере. Дополнительно обоснована роль кластерной платформы как интеграционного механизма согласования интересов государства, бизнеса, научно-образовательных организаций и общества. Показано, что внедрение модели способствует повышению эффективности управления инновациями, ускорению цифровой трансформации логистических процессов и формированию устойчивых цепей поставок. Особое внимание уделено вопросам масштабируемости платформы и адаптации ее архитектуры к различным уровням транспортных систем. Сделан вывод о том, что MINEM-модель обеспечивает системное развитие отрасли за счет синергии участников и усиления инновационного потенциала транспортного комплекса. Платформа обеспечивает цифровую координацию участников транспортной инновационной экосистемы отрасли эффективно.

Реализация модели повышает устойчивость и конкурентоспособность транспортной системы в целом.

Ключевые слова: цифровизация транспорта, кластерная платформа, центр компетенций, цифровая экосистема, спиральное взаимодействие.

Received 31.10.2025. Revised 07.04.2026. Accepted 27.04.2026. Available online 30.03.2026

* the correspondence author

Введение

Цифровизация транспортной отрасли приобретает стратегическое значение в условиях глобальной трансформации производственно-логистических цепочек и стремительного развития информационных технологий. Эффективное внедрение цифровых решений требует не только технической модернизации, но и выстраивания устойчивых межотраслевых связей между участниками транспортной, научной и образовательной сфер [1,2]. В этой связи особую актуальность приобретает создание кластерных платформ как центров компетенций цифровой трансформации.

Кластерный подход обеспечивает институциональную основу для взаимодействия различных заинтересованных сторон — от промышленных предприятий и транспортных операторов до исследовательских центров и государственных структур. Однако традиционные модели кластеризации часто не охватывают всей сложности процессов цифровизации, в том числе необходимости мультиуровневой координации, гибкой адаптации к изменениям внешней среды и интеграции инновационных практик. Для решения этих задач предлагается использование многоуровневой интегрированной модели "Multilevel Integrated Helix-Ecosystem Model" (MINEM), которая будет совмещать элементы тройной, четверной и пятерной спиралей с принципами экосистемного управления.

Предлагается концептуальная архитектура кластерной платформы, основанной на модели MINEM, предназначенной для формирования и развития цифровых компетенций в транспортном секторе. Основное внимание уделяется механизмам взаимодействия участников, обмену знаниями, трансферу технологий и институциональному сопровождению цифровых инициатив. Предлагаемый подход направлен на повышение устойчивости цифровых трансформаций и обеспечение синергетического эффекта от объединения ресурсов различных сфер.

Таким образом, статья раскрывает потенциал кластерной цифровой платформы как ключевого элемента инфраструктуры цифровизации транспорта, ориентированного на долгосрочное развитие компетенций, инноваций и партнерства.

Методология.

Современные вызовы в области цифровизации требуют создания интегрированных платформ, которые смогут эффективно связать различные сектора, включая производство, образование и науку. Эта необходимость обусловлена растущей потребностью в ускорении инновационных процессов, повышении производительности и обеспечении устойчивого развития на всех уровнях взаимодействия. Исследование опирается на комплексный методологический подход, включающий системный анализ, теорию кластеризации, а также моделирование взаимодействий по спиральным и экосистемным моделям.

Основные этапы методики включают:

1. Концептуальное моделирование кластерной платформы на основе анализа существующих подходов к формированию инновационных кластеров и моделей спирального взаимодействия.
2. Идентификацию ключевых субъектов цифровизации транспортной отрасли и анализ их функциональных ролей в рамках экосистемы (промышленные предприятия, университеты, исследовательские центры, органы власти, гражданское общество).
3. Разработку структурно-функциональной схемы кластерной платформы как центра компетенций: образовательный контур, трансфер технологий, регуляторное сопровождение, цифровая инфраструктура.
4. Экспертную валидацию модели, основанную на опросах и интервью с представителями транспортных компаний, научных организаций и органов управления, а также сопоставление с успешными зарубежными примерами.

Информационную базу составили аналитические отчеты, государственные программы, научные публикации и кейсы реализации кластерных инициатив в транспортной сфере.

Обзор существующих моделей:

Модель Triple Helix (Тройная спираль) сосредоточена на взаимодействии трех ключевых секторов: государства, науки и бизнеса. Согласно этой модели, инновации возникают через их сотрудничество, где каждый сектор играет свою роль в создании новых знаний и технологий. Ключевые особенности данной модели заключаются в сосредоточении на взаимодействии научных учреждений, бизнеса и государства, сотрудничество между этими секторами способствует экономическому росту и технологическим инновациям. Однако имеются следующие недостатки: ограниченный подход, так как модель не учитывает участие других важных участников, таких как общество и экосистема; сложности в балансировке интересов трех секторов, особенно в условиях глобализации [3].

Модель Quadruple Helix (Квадрупле спираль) расширяет концепцию Triple Helix, добавляя в нее элемент гражданского общества. Это взаимодействие четырех сфер позволяет глубже учитывать социальные, культурные и общественные аспекты в процессе инновационного развития. Данная модель включает гражданское общество, которое участвует в процессе инноваций, учитывает социальные инновации и потребности населения. Недостатки модели заключаются в том, что включение общества может создать слишком широкий фокус, это затрудняет концентрацию на ключевых инновационных процессах; несмотря на внимание к социальной составляющей, экологические и устойчивые аспекты не всегда должным образом отражаются [4,5]. Модель Ecosystem Approach (Подход к экосистемам) рассматривает инновации как часть более широкого экосистемного взаимодействия, включая бизнес, науку, государственные структуры и другие компоненты (например, природу, культуру, социальные аспекты). Инновационные процессы рассматриваются как результат взаимодействия различных элементов экосистемы. Модель более гибкая и целостная, чем Triple Helix, поскольку включает разнообразие факторов. К недостаткам данной модели можно отнести: сложность управления и координации многочисленных компонентов экосистемы; высокую степень неопределенности и нестабильности, что делает модель сложной для практической реализации [6,7]. Модель Network Models (Сетевые модели) ориентированы на создание сетей взаимодействия между различными организациями и учреждениями, где успешное инновационное развитие зависит от качества этих сетевых связей. Сетевые модели

подчеркивают важность обмена знаниями и ресурсами, ориентированы на создание взаимосвязанных сетей, что позволяет эффективно использовать знания и ресурсы. Модель гибкая, легко адаптируемая к различным условиям. В то же время эффективность модели сильно зависит от качества взаимодействий внутри сети: возможны сложности в координации участников сети в управлении большими объемами информации [8].

Каждая из рассмотренных моделей имеет свои сильные стороны, но также и недостатки, которые могут препятствовать эффективному взаимодействию и цифровой трансформации. Синтез подходов представляет собой логичный шаг для преодоления этих ограничений и создания более комплексной модели, которая охватывает широкий спектр факторов.

Модель МІНЕМ (Многоуровневая интегрированная модель спирали-экосистемы) предлагает комплексный подход к взаимодействию между различными секторами и уровнями экосистемы инноваций. Основным принципом модели является многоуровневая интеграция, которая охватывает несколько взаимосвязанных уровней, каждый из которых вносит свой вклад в общий процесс цифровой трансформации и инновационного развития.



Рисунок 1. Модель Multilevel Integrated Helix-Ecosystem Model (MİNEM)

Модель МІНЕМ строится на принципе интеграции различных уровней взаимодействия между ключевыми участниками инновационного процесса. В отличие от традиционных моделей, МІНЕМ акцентирует внимание на том, как эти уровни взаимодействуют не только внутри каждого уровня, но и между собой, обеспечивая эффективный обмен знаниями, технологиями и ресурсами. Это позволяет создавать более гибкие и устойчивые системы, способные быстро адаптироваться к изменениям внешней среды.

На рисунке 1 приведена модель МІНЕМ, которая иллюстрирует многоуровневую структуру кластерной платформы цифровизации: в центре расположен Центр компетенций и обмена опытом, вокруг которого организовано взаимодействие пяти

ключевых участников (наука, образование, бизнес, государство и общество). Модель интегрирует экосистемные элементы и методологическую надстройку, обеспечивая гибкость и устойчивость процессов цифровой трансформации.

Модель структурирована в три взаимосвязанных уровня:

1. Центральный уровень — центр компетенций и обмена опытом, выступающий ядром для агрегирования знаний, технологий и методологий цифровой трансформации. Этот уровень включает научные и исследовательские институты, которые проводят фундаментальные и прикладные исследования, а также создают новые технологии и идеи, которые затем могут быть использованы на других уровнях.

Основные функции:

Проведение фундаментальных исследований и разработок.

Обучение и подготовка кадров, создание образовательных программ.

Создание и распространение новых знаний и технологий.

Содействие трансферу технологий и инноваций в другие сектора.

2. Средний уровень включает институциональных участников Helix, таких как университеты, исследовательские организации, предприятия и государственные учреждения, которые взаимодействуют друг с другом для реализации инновационных решений. Эти институты выполняют ключевую роль в связывании науки и бизнеса, трансформируя научные исследования в коммерчески жизнеспособные продукты и решения.

Основные функции:

Применение результатов исследований для создания инноваций в бизнесе и промышленности.

Формирование совместных проектов между научными учреждениями и промышленными предприятиями.

Обеспечение государственной политики и стратегического направления в области инноваций и цифровой трансформации.

3. Внешний уровень включает экосистемные элементы (инновационные хабы, цифровые фабрики, площадки пилотных проектов, инфраструктуры открытых данных), обеспечивающие динамическую поддержку и масштабирование цифровых решений. Дополнительно модель включает методологическую надстройку, ориентированную на стандартизацию процессов взаимодействия, использование гибких проектных методик (Agile, Design Thinking) и принятие решений на основе данных.

Основные функции:

Влияние на разработку продуктов и услуг с учетом потребностей общества.

Участие в реализации инновационных решений и экосистемных инициатив.

Учёт экологических, социальных и культурных факторов при разработке новых решений.

Гибкое реагирование на изменения внешней среды, включая законодательные и экологические факторы.

1. Математическая модель обработки данных и взаимодействия пользователей

Для построения математической модели взаимодействия различных компонентов платформы MINEM (например, устройств, пользователей и сервисов) можно использовать систему дифференциальных уравнений, описывающих поток данных через систему и взаимодействие компонентов платформы.

Модель потока данных:

Пусть $D(t)$ — это функция, описывающая объем данных, который обрабатывается на платформе в момент времени t . Поток данных может зависеть от входных и выходных данных, а также от времени обработки.

Математически поток данных можно записать как:

$$\frac{dD(t)}{dt} = f(P(t), U(t), T(t)) - g(D(t)), \quad (1)$$

где $P(t)$ — количество производственных процессов на платформе, зависящих от времени,

$U(t)$ — количество пользователей, подключенных к платформе в момент времени t ,

$T(t)$ — технология или уровень цифровизации, использующийся в данный момент,

$g(D(t))$ — функция, описывающая уменьшение объема данных (например, за счет их хранения или архивации).

Пример реализации функции $f(P(t), U(t), T(t))$:

$f(P(t), U(t), T(t))$ может учитывать количество процессов, требующих обработки данных, число пользователей, которые генерируют запросы на платформе, и мощность используемых технологий. Тогда:

$$f(P(t), U(t), T(t)) = \alpha \cdot P(t) + \beta \cdot U(t) \cdot T(t), \quad (2)$$

где α и β — коэффициенты, которые могут быть определены на основе анализа данных и оценок ресурсов платформы.

2. Математическая модель оптимизации производственных процессов

Платформа МІНЕМ может использовать методы оптимизации для управления производственными процессами на предприятиях. Один из возможных методов — это оптимизация с учетом ограничений, где цели платформы включают максимизацию прибыли, минимизацию затрат или максимизацию эффективности.

Модель для оптимизации процессов:

Maximize

$$Z = c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + \dots + c_n \cdot x_n, \quad (3)$$

где $x_1, x_2, \dots, x_n$ — количество производственных единиц или ресурсов, необходимых для различных процессов,

$c_1, c_2, \dots, c_n$ — коэффициенты, отражающие стоимость, прибыль или другие параметры, связанные с процессами.

При этом существуют ограничения, такие как:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j \leq b_i \text{ для } i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

где a_{ij} — коэффициенты, отражающие, как каждый процесс влияет на каждый ресурс,

b_i — доступное количество ресурса i .

Также могут быть добавлены нелинейные ограничения, например, связанные с производственной мощностью или затратами на материалы.

3. Математическая модель безопасности данных

Для обеспечения безопасности платформы можно использовать модели защиты

данных, основанные на теории вероятностей и статистике.

Модель риска утечки данных:

Пусть $R(t)$ — это вероятность утечки данных на момент времени t , а $S(t)$ — это степень защиты. Модель вероятности утечки может быть выражена как:

$$R(t)=1-S(t) \quad (5)$$

где $S(t)$ — вероятность того, что система защиты будет эффективной в момент времени t . Эта величина может зависеть от уровня цифровой защиты, включающей шифрование, мониторинг и другие механизмы безопасности.

В рамках исследования оптимизация цифровизации формулируется как задача математического программирования с неопределёнными параметрами. Приведем ключевые уравнения и допущения.

Целевая функция оптимизации направлена на максимизацию интегрального показателя эффективности:

$$\max Z = \alpha D_{\{final\}} - \beta R_{\{final\}}, \tag{6}$$

где $D_{\{final\}}$ — объём цифровых данных в конце периода,

$R_{\{final\}}$ — уровень рисков,

$\alpha, \beta > 0$ — коэффициенты весов.

Ограничения по ресурсам

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq B, \quad (7)$$

$$x_2 \leq S, \quad (8)$$

где B — бюджет (случайная величина),

S — кадровый потенциал (число IT-специалистов).

Рост объёма данных описывается выражением:

$$D_{\{t+1\}} = D_t \cdot (1 + g) + \gamma x_1, \quad (9)$$

где g — темп роста спроса,

γ — коэффициент вклада инвестиций в инфраструктуру.

Снижение рисков:

$$R_{\{t+1\}} = R_t \cdot (1 - \delta) - \theta x_3, \quad (10)$$

где δ — коэффициент снижения рисков,

θ — эффективность инновационных проектов.

Распределения параметров

бюджет:

$$B \text{Triangular} (80,100,120), \quad (11)$$

кадровый потенциал:

$$S \text{Uniform} (20,50), \quad (12)$$

темпы инноваций:

$$rN(0.05, 0.012), \quad (13)$$

коэффициент снижения рисков:

$$\delta Uniform(0.7, 0.9), \quad (14)$$

рост спроса:

$$gN(1.03, 0.022) \quad (15)$$

Latin Hypercube Sampling (LHS). Разбиение диапазона каждого параметра на NN равновероятных интервалов и выбор точек:

$$\{X_{\{i1\}}, X_{\{i2\}}, \dots, X_{\{ik\}}\}, i = 1, \dots, N, \quad (16)$$

где k — число параметров,

$N=10000$ — количество симуляций.

Частные ранговые коэффициенты корреляции (PRCC)

$$\rho_{x_j, Y} = \text{Cov}(R_{x_j}, R_Y) / (\sigma_{R_{x_j}} \cdot \sigma_{R_Y}) \quad (17)$$

где R_{x_j} — остатки регрессии параметра X_j на остальные параметры,

R_Y — остатки регрессии отклика Y на остальные параметры.

Регрессионный анализ

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon, \quad (18)$$

где $Y \in \{D_{final}, R_{final}, Z\}$, X_j — входные параметры,

β_j — стандартизированные коэффициенты регрессии.

Чувствительность решений. Оптимальные решения зависят от ограничений:

$$x_j^* = f(B, S), j = 1, 2, 3, \quad (19)$$

а чувствительность выражается через:

$$\Delta x_j^* = x_{j(B+\Delta B, S+\Delta S)}^* - x_{j(B, S)}^* \quad (20)$$

1. Модельные допущения. Предлагаемый анализ основан на динамической модели оптимизации распределения ресурсов в рамках Multilevel Integrated Helix-Ecosystem Model (MINEM). Были приняты следующие допущения:

- система рассматривается на горизонте в один год с дискретными временными шагами (месяцами).
 - оптимизируются три ключевых ресурса:
- x_1 — инвестиции в цифровую инфраструктуру,

x_2 — кадровые ресурсы (IT-специалисты),
 x_3 — технологические инновационные проекты.

Ограничения включают лимит бюджета и численности специалистов.

Основные показатели эффективности:

- совокупный объём данных на конец периода D_{final} ,
- максимальный уровень риска R_{final} ,
- целевая функция Z , отражающая эффективность системы.

2. Распределения параметров. Неопределённость параметров модели представлена вероятностными распределениями, основанными на эмпирических исследованиях, экспертных оценках и национальной статистике Казахстана:

Бюджет — треугольное распределение ($\min = 80$, $\text{mean} = 100$, $\max = 120$).

Кадровый потенциал (IT staff) — равномерное распределение (20–50 специалистов).

Темп внедрения инноваций — нормальное распределение ($\text{ср.} = 0,05$, $\sigma = 0,01$).

Коэффициент снижения рисков — равномерное распределение (0,7–0,9).

Рост внешнего спроса — нормальное распределение ($\text{ср.} = 1,03$, $\sigma = 0,02$).

Все случайные входные данные были нормированы для возможности сопоставления их влияния.

3. Метод Latin Hypercube Sampling (LHS). Для эффективного исследования пространства неопределённости применялся метод Latin Hypercube Sampling (LHS) с числом итераций 10 000. LHS обеспечивает равномерное покрытие диапазонов распределений параметров и более высокую эффективность по сравнению с простым случайным выбором. Каждая выборка параметров использовалась как вход для задачи оптимизации, что позволяло получить набор выходных показателей (D_{final}, R_{final}, Z).

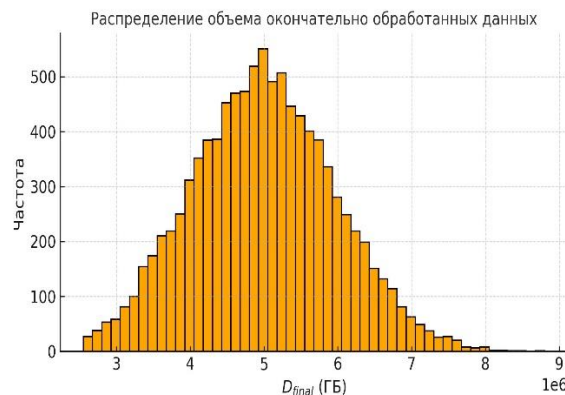


Рисунок 2. Распределение объема конечных обработанных данных.

4. Анализ чувствительности (PRCC). Для оценки влияния неопределённых параметров на результаты модели были рассчитаны частные ранговые коэффициенты корреляции (PRCC):

- Входные переменные были преобразованы в ранги для снижения влияния нелинейности.
- PRCC рассчитывались между каждым параметром и выходными показателями с контролем остальных параметров.

- Положительное значение PRCC указывает, что рост параметра приводит к увеличению выходной переменной, отрицательное — к снижению.

Метод PRCC широко применяется в системном моделировании, так как учитывает монотонные, но нелинейные зависимости. Статистическая значимость оценивалась на уровне доверия 95%.

Гистограмма из выборок по методу Монте-Карло (10 тыс. LHS). Источник: расчеты авторов, основанные на статистике Казахстана.

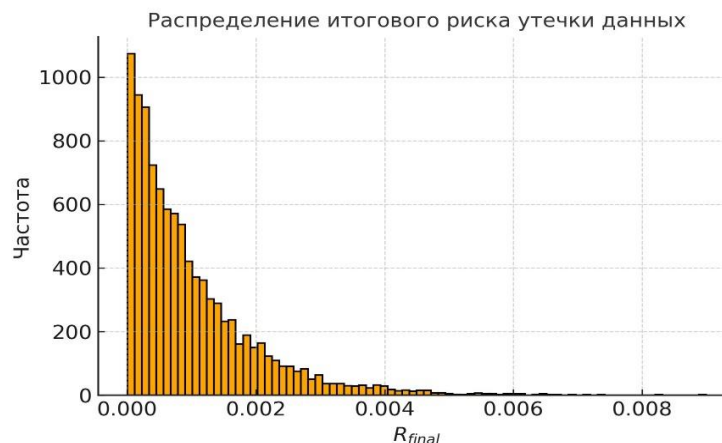


Рисунок 3. Распределение риска утечки конечных данных R (12).

Гистограмма по методу Монте-Карло (10 тыс. LHS). Источник: расчеты авторов.

5. Регрессионный анализ. В качестве дополнительной проверки был проведён стандартизированный множественный регрессионный анализ. Коэффициенты регрессии позволили подтвердить результаты PRCC и выявить возможные эффекты взаимодействия параметров.

6. Чувствительность оптимизации. Также была проанализирована чувствительность оптимальных решений (x_1^* , x_2^* , x_3^*) к изменению бюджета и кадрового потенциала.

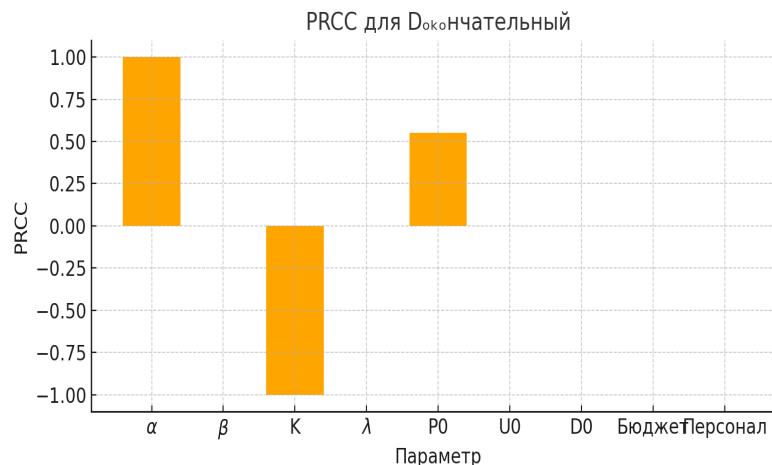


Рисунок 4. Коэффициенты частичной ранговой корреляции (PRCC) для D_{final} .

Положительные значения указывают на прямую связь после учета других параметров.

Результаты представлены в табличной форме (значения решений для разных значений бюджета и кадров) и графически (тепловые карты решений).

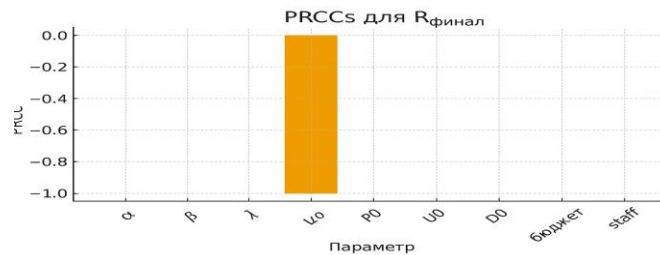


Рисунок 5 . PRCC для $R_{\text{финал}}$.

Более высокий абсолютный PRCC указывает на более сильное влияние на риск.

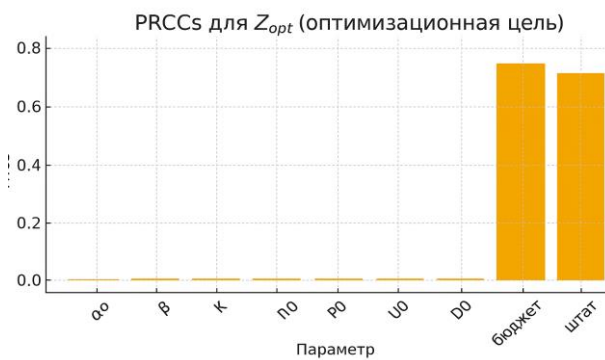


Рисунок 6. PRCC для задачи оптимизации Z

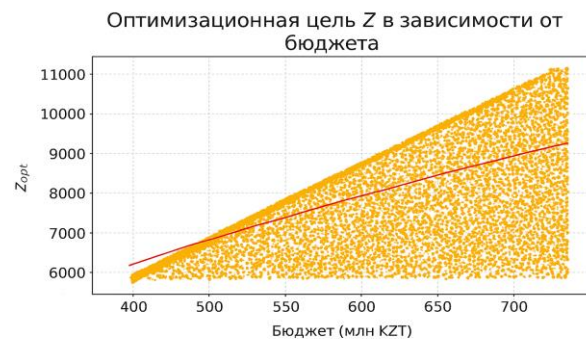


Рисунок 7. Точечная диаграмма зависимости Z от бюджета с линейной линией тренда демонстрирует зависимость цели от доступного бюджета.

Таблица 1. Коэффициенты частной ранговой корреляции (PRCC).

Параметр	PRCC ($D_{\text{финал}}$)	PRCC ($R_{\text{финал}}$)	PRCC (Z_{opt})
α	0.9765	0.0001	-0.0121
β	0.0080	-0.0022	-0.0085
k	-0.9753	0.0002	0.0048
λ	0.0103	-1.0000	0.0027
P_0	0.5275	0.0004	0.0048
U_0	-0.0055	0.0013	0.0045
D_0	-0.0063	-0.0021	0.0051
Бюджет	0.0028	-0.0031	0.7441
Персонал	-0.0130	-0.0002	0.8024

Более светлые области указывают на большее количество выделенных единиц.

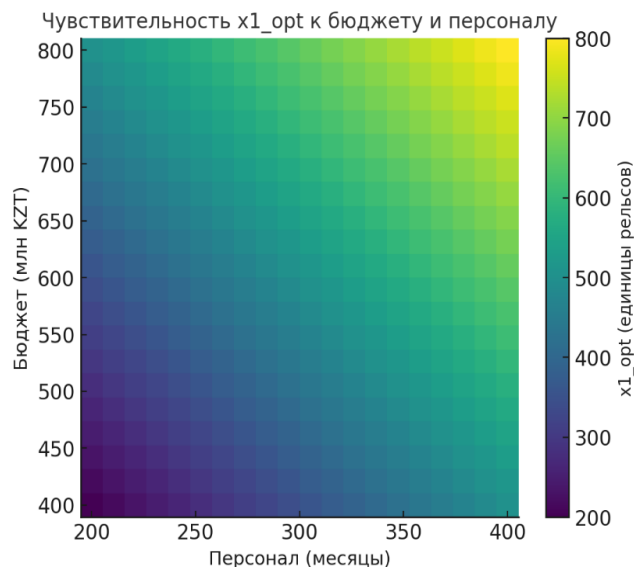


Рисунок 8. Тепловая карта оптимального распределения x (железнодорожных единиц) в зависимости от бюджета и наличия IT-персонала.
Таблица 2. Коэффициенты регрессии (стандартизированные предикторы).

Параметр	coef (D_final)	coef (R_final)	coef (Z_opt)
α	1020252.1109	0.0000	-5.9928
β	842.1122	0.0000	-8.3481
k	-1021131.5520	0.0000	2.5331
λ	-1795.4710	-0.0036	0.3112
P_0	150225.3692	-0.0000	4.3058
U_0	2902.1728	0.0000	3.5037
D_0	-2216.4758	-0.0001	7.3986
Бюджет	-479.3874	0.0000	747.0550
Персонал	-4951.6528	0.0000	865.4619

Источники: Комитет по статистике Республики Казахстан, национальные транспортные отчёты и интернет ресурсы.

Результаты и обсуждение

Предложенная модель кластерной платформы на основе MINEM демонстрирует следующие ключевые особенности:

Многоуровневая интеграция участников (государство, бизнес, наука, общество,

окружающая среда), обеспечивающая согласованность стратегических и операционных решений; Спиральная логика взаимодействия (Triple, Quadruple, Quintuple Helix), способствующая развитию инновационной активности и обмену знаниями; Экосистемная структура, обеспечивающая адаптацию к изменениям внешней среды, устойчивость процессов цифровизации и устойчивое развитие.

Функциональные модули платформы:

Архитектура платформы обеспечивает как вертикальную координацию (от государственных стратегий до уровня предприятия), так и горизонтальное взаимодействие (между субъектами одного уровня), создавая условия для синергии и масштабируемости. Модель МІНЕМ опирается на несколько методологических принципов, которые обеспечивают ее успешное функционирование: Интеграция знаний и технологий: это базовый принцип модели, который гарантирует, что взаимодействие между уровнями будет динамичным и эффективным. Интеграция осуществляется через создание платформ и инструментов для обмена знаниями, а также через внедрение новых подходов и методов в цифровой трансформации. Гибкость и адаптивность: МІНЕМ позволяет каждому из уровней адаптироваться к изменениям внешней среды, обеспечивая соответствующие механизмы для гибкой перераспределения ресурсов, пересмотра стратегий и подходов в зависимости от изменений в экосистеме.

Системный подход: Модель предполагает работу всех уровней как части единой экосистемы, где каждый элемент взаимозависим от других, что способствует более эффективному решению задач и достижению результатов.

Коллаборация и партнерство: Модель подчеркивает важность взаимодействия между всеми уровнями, включая создание партнерских отношений и установление устойчивых сетевых связей для оптимизации ресурсов и усиления инновационного потенциала.

Результаты исследования подтверждают, что кластерная платформа на основе модели МІНЕМ способна выполнять функции эффективного центра компетенций цифровизации в транспортной сфере. В отличие от традиционных моделей кластеров, МІНЕМ предлагает интеграцию институциональных, образовательных, технологических и экологических компонентов, что особенно актуально в условиях нестабильной технологической среды.

Модель способствует не только аккумулированию знаний и цифровых ресурсов, но и формированию культуры совместного развития, где участники платформы становятся активными соавторами цифровых решений. Особое значение имеет связь платформы с образовательной системой, позволяющая готовить кадры нового поколения с актуальными цифровыми компетенциями.

Следует отметить, что успешная реализация модели требует институциональной поддержки, наличия нормативной базы, а также заинтересованности участников в совместной работе [10,11]. Кроме того, важно обеспечить оценку эффективности функционирования платформы, ее масштабируемость на другие регионы и подсекторы транспорта (железнодорожный, автомобильный, мультимодальный и т.д.).

Заключение

Предложенная в статье концепция кластерной платформы, основанная на модели МІНЕМ, представляет собой инновационный подход к организации цифровой трансформации транспортной отрасли. Многоуровневая интеграция участников, спиральная логика взаимодействия и экосистемная структура позволяют платформе

эффективно выполнять функции центра компетенций, объединяя образование, науку, бизнес и государственное управление.

Модель МІНЕМ демонстрирует потенциал для создания устойчивой институциональной среды, способной не только аккумулировать и распространять цифровые знания, но и стимулировать инновационную активность, поддерживать развитие человеческого капитала и обеспечивать адаптивное управление цифровыми процессами.

В дальнейшем рекомендуется проведение пилотных проектов по реализации модели в конкретных транспортных кластерах, а также разработка методик количественной оценки эффективности функционирования платформы. Полученные результаты могут быть использованы в формировании государственной политики в области цифровизации и при проектировании региональных программ развития транспортной инфраструктуры.

Благодарность

Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования BR27198643 «Развитие цифровых компетенций человеческого капитала в промышленности и логистике через кластерное взаимодействие науки, образования и индустрии» при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Вклад авторов

М.М. Идрисов – Сбор материалов, анализ полученных данных

С.Е. Бекжанова – Разработка концепции

Д.З. Бекжанов – Сбор данных и разработка концепции

А.В. Мухаметжанова – Анализ результатов исследования, утверждение окончательной версии статьи, представленной к публикации

Список литературы

1. Правительство Республики Казахстан. (2023). Концепция цифровой трансформации, развития отрасли информационно-коммуникационных технологий и кибербезопасности на 2023–2029 годы, Постановление Правительства Республики Казахстан № 269.
2. Правительство Республики Казахстан. (2023). Концепция развития высшего образования и науки в Республике Казахстан на 2023–2029 годы, Постановление Правительства Республики Казахстан № 248.
3. Etzkowitz, H. and Leydesdorff, L. (2000). The Triple Helix: University–Industry–Government Relations, Routledge, London.
4. Carayannis, E. G. and Campbell, D. F. J. (2012). Mode 3 Knowledge Production in Quadruple Helix Innovation Systems: 21st-Century Democracy, Innovation, and Entrepreneurship for Development, Springer.
5. Kulikauskienė, K. (2021). “The Theoretical Quadruple Helix Model for Digital Inclusion Increase”, Management of Organizations: Systematic Research, 85(1), pp. 13–32.
6. Carayannis, E. G. and Campbell, D. F. J. (2019). Smart Quintuple Helix Innovation Systems: How Social Ecology and Environmental Protection are Driving Innovation, Sustainable Development and Economic Growth, Springer.

7. Kunwar, R. R. and Ulak, N. (2024). "Extension of the Triple Helix to Quadruple to Quintuple Helix Model", *Journal of APF Command and Staff College*, 7(1), pp. 241–280.
8. Zarei, F., Ryckebusch, J., Schoors, K. et al. (2023). "Social network heterogeneity benefits individuals at the expense of groups in the creation of innovation", *Journal of Physics: Complexity*, 3(4), 045002.
9. Yawson, R. M. (2021). "The Ecological System of Innovation: A New Architectural Framework for a Functional Evidence-Based Platform for Science and Innovation Policy".
10. Мырзахмет, М. К., Бегимбай, К. М., Идрисова, А. Р. и др. (2018). Взаимодействие науки, производства и образования в государственных университетах Казахстана, ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, Астана.
11. Алибекова, Г. Ж., Молдабекова, А. Т. и др. (2024). "Проблемы и стратегические направления развития науки в Казахстане: экспертное интервью стейкхолдеров научных проектов", *Статистика, учет и аудит*.
12. Приходько, И. И., Ванюшкин, А. С. и Барсегян, А. Г. (2021). "Опыт реализации модели тройной спирали в странах Северной Европы", *Ученые записки КФУ им. В. И. Вернадского. Экономика и управление*, 7(73), стр. 93–99.
13. Агапова, И. И. (2020). Инновационные процессы в образовании и производстве: проблемы взаимодействия, Наука, Москва.
14. Беляев, А. В. и Мищенко, А. Г. (2021). "Интеграционные процессы в системе «образование — наука — производство»", *Вестник образования*, № 3, стр. 42–47.
15. Карпова, Г. Г. (2022). "Институциональные механизмы развития взаимодействия вузов и предприятий", *Экономика и управление*, 6(158), стр. 35–39.
16. Ломакин, В. К. (2020). "Стратегическое партнёрство науки, образования и производства: теоретико-методологический аспект", *Инновации*, № 9, стр. 19–24.
17. Бондарь, В. Г. (ред.) (2022). Цифровая трансформация в образовании и науке: тренды и вызовы, Эдитус, Москва.
18. Шаповалов, С. С. (2021). Управление инновационным развитием: взаимодействие науки, образования и бизнеса, УрФУ, Екатеринбург.
19. Bekzhanova, S. E. and Yusupova, K. (2024). "Review of the Study on the Cognitive Technologies of Transporting Waste from Mining Industry", *Proceedings of the 3rd Cognitive Mobility Conference. COGMOB 2024 Lecture Notes in Networks and Systems (LNNS)*, vol. 1258, pp. 314–319, available at: https://doi.org/10.1007/978-3-031-81799-1_28.
20. Bekzhanova, S. E., Imasheva, G. M., Issina, B. M. et al. (2026). "Impact of digital integration of logistics cluster participants on supply chain resilience", *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, № 2(212), pp. 131–141, available at: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2026-2/131>.

M. Idrissov¹, S. Bekzhanova^{1*}, D. Bekzhanov², A. Mukhametzhanova³

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

² M. Dulatov Kostanay Engineering and Economics University, Kostanay, Kazakhstan

³ L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Cluster platform as a center of digitalization competencies based on the «multilevel integrated helix-ecosystem model»

Abstract. The article presents a concept of a cluster-based platform as a competence center for digitalization in the transport sector, using the Multilevel Integrated Helix-Ecosystem Model (MIHEM). The proposed model combines elements of the Triple, Quadruple, and Quintuple Helix with an ecosystem-based approach to enable multilevel stakeholder interaction during digital transformation. The study defines the platform's core functions, including digital skills development, R&D coordination, technology transfer, and digital infrastructure integration. The paper presents the results of conceptual modeling and discusses the application potential of MIHEM in building sustainable digital ecosystems for the transport industry. In addition, the role of the cluster platform as an integrative mechanism for aligning the interests of government, business, scientific and educational institutions, and society is further substantiated. The study demonstrates that the implementation of the model contributes to more efficient innovation management, accelerates the digital transformation of logistics processes, and supports the development of resilient supply chains. Particular attention is paid to the scalability of the platform and the adaptability of its architecture to different levels of transport systems. The findings indicate that the MIHEM model promotes the systemic development of the industry through stakeholder synergy and the strengthening of the innovative capacity of the transport sector. Furthermore, the platform enables effective digital coordination among participants within the transport innovation ecosystem. The implementation of the model ultimately enhances the resilience and overall competitiveness of the transport system.

Keywords: transport digitalization, cluster platform, MIHEM model, competence center, digital ecosystem, helix interaction.

References

1. Government of the Republic of Kazakhstan. (2023). Concept of Digital Transformation, Development of the Information and Communication Technologies Industry and Cybersecurity for 2023–2029, Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan No. 269.
2. Government of the Republic of Kazakhstan. (2023). Concept of Development of Higher Education and Science in the Republic of Kazakhstan for 2023–2029, Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan No. 248.
3. Etzkowitz, H. and Leydesdorff, L. (2000). *The Triple Helix: University–Industry–Government Relations*, Routledge, London.
4. Carayannis, E. G. and Campbell, D. F. J. (2012). *Mode 3 Knowledge Production in Quadruple Helix Innovation Systems: 21st-Century Democracy, Innovation, and Entrepreneurship for Development*, Springer.
5. Kulikauskienė, K. (2021). "The Theoretical Quadruple Helix Model for Digital Inclusion Increase," *Management of Organizations: Systematic Research*, 85(1), pp. 13–32.
6. Carayannis, E. G. and Campbell, D. F. J. (2019). *Smart Quintuple Helix Innovation Systems: How Social Ecology and Environmental Protection are Driving Innovation, Sustainable Development and Economic Growth*, Springer.
7. Kunwar, R. R. and Ulak, N. (2024). "Extension of the Triple Helix to Quadruple to Quintuple Helix Model," *Journal of APF Command and Staff College*, 7(1), pp. 241–280.
8. Zarei, F., Ryckebusch, J., Schoors, K. et al. (2023). "Social network heterogeneity benefits individuals at the expense of groups in the creation of innovation", *Journal of Physics: Complexity*, 3(4), 045002.

9. Yawson, R. M. (2021). "The Ecological System of Innovation: A New Architectural Framework for a Functional Evidence-Based Platform for Science and Innovation Policy".
10. Myrzakhmet, M. K., Begimbay, K. M., Idrisova, A. R., et al. (2018). Interaction of science, industry, and education in state universities of Kazakhstan, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana.
11. Alibekova, G. Zh., Moldabekova, A. T., et al. (2024). "Problems and Strategic Directions for Science Development in Kazakhstan: Expert Interviews with Stakeholders of Scientific Projects", Statistics, Accounting and Audit.
12. Prikhodko, I. I., Vanyushkin, A. S., and Barseghyan, A. G. (2021). "Experience in Implementing the Triple Helix Model in Northern European Countries", Scientific Notes of the Vernadsky Kazan Federal University. Economics and Management, 7(73), pp. 93–99.
13. Agapova, I. I. (2020). Innovative Processes in Education and Production: Interaction Problems, Nauka, Moscow.
14. Belyaev, A. V., and Mishchenko, A. G. (2021). "Integration Processes in the Education-Science-Production System", Vestnik obrazovaniya, no. 3, pp. 42–47.
15. Karpova, G. G. (2022). "Institutional Mechanisms for Developing Interaction between Universities and Enterprises", Economics and Management, 6(158), pp. 35–39.
16. Lomakin, V. K. (2020). "Strategic Partnership of Science, Education, and Production: Theoretical and Methodological Aspect", Innovations, no. 9, pp. 19–24.
17. Bondar, V. G. (ed.) (2022). Digital Transformation in Education and Science: Trends and Challenges, Editus, Moscow.
18. Shapovalov, S. S. (2021). Managing Innovative Development: Interaction of Science, Education, and Business, Ural Federal University, Yekaterinburg.
19. Bekzhanova, S. E. and Yusupova, K. (2024). "Review of the Study on the Cognitive Technologies of Transporting Waste from the Mining Industry," Proceedings of the 3rd Cognitive Mobility Conference. COGMOB 2024 Lecture Notes in Networks and Systems (LNNS), vol. 1258, pp. 314–319, available at: https://doi.org/10.1007/978-3-031-81799-1_28.
20. Bekzhanova, S. E., Imasheva, G. M., Issina, B. M. et al. (2026). "Impact of digital integration of logistics cluster participants on supply chain resilience", Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu, No. 2(212), pp. 131–141, available at: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2026-2/131>.

Сведения об авторах:

Идрисов М.М. – докторант Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева, улица Сатпаева, 22, 050000, Алматы, Казахстан

Бекжанова С.Е. – доктор технических наук, профессор Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева, улица Сатпаева, 22, 050000, Алматы, Казахстан

Бекжанов Д.З. – кандидат технических наук, сеньор-лектор Костанайского инженерно-экономического университета имени М. Дулатова, ул. Чернышевского, 59, 110000, Костанай, Казахстан

Мухаметжанова А.В. – доктор технических наук, исполняющая обязанности профессора кафедры «ОПДЭТ» Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилёва, 010000, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан

Marat Idrissov – doctoral student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,
Saule Bekzhanova – Doctor of Technical Sciences, Professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
Dinar Bekzhanov – Senior Lecturer, PhD in Engineering, Kostanay Engineering and Economics University named after M. Dulatov, Kostanay, Kazakhstan
Aizhan Mukhametzhanova – Doctor of Technical Sciences, Acting Professor, Department "Transport Operation, Traffic and Transportation Organization", L.N. Gumilyov Eurasian National University, 010000, Republic of Kazakhstan, Astana city, 2 Satpayev Street

\



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license