

УДК 332.1

**СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ  
ЭКОНОМИЧЕСКИХ СУБЪЕКТОВ В РАМКАХ ЦИФРОВОЙ СРЕДЫ  
ГИПЕРКЛАСТЕРА**

***Напольских Д.Л.***

*к.э.н., доцент*

*Поволжский государственный технологический университет,*

*Йошкар-Ола, Россия*

***Колчин В.Д.***

*Инженер-исследователь*

*Поволжский государственный технологический университет,*

*Йошкар-Ола, Россия*

**Аннотация.** В статье рассматриваются теоретико-методологические и прикладные аспекты формирования сетевой модели организационно-экономического взаимодействия субъектов в условиях цифровизации экономики и развития гиперкластеров. Предложена авторская модель гиперкластерной цифровой среды как интеграционной платформы взаимодействия бизнеса, науки, государства и инфраструктурных участников. Разработан набор количественных и качественных показателей, характеризующих интенсивность, эффективность и устойчивость взаимодействия. Обосновано применение методов сетевого анализа, теории графов и платформенной экономики. На примере IT-кластера Республики Марий Эл выполнена апробация модели, включая расчёт плотности сети, синергетического эффекта, производственной функции с цифровым фактором. Полученные результаты могут быть использованы при разработке стратегий кластерного развития и цифровой трансформации региональных экономик.

**Ключевые слова:** гиперкластеры, цифровая среда, сетевые модели, организационно-экономическое взаимодействие, показатели эффективности, платформенная экономика, IT-кластер.

***NETWORK MODEL OF INTERACTION OF ECONOMIC SUBJECTS IN THE  
DIGITAL ENVIRONMENT OF INNOVATIVE HYPERCLUSTERS***

***Napolskikh D.L.***

*PhD in Economics, Associate Professor,*

*Volga State University of Technology,*

*Yoshkar-Ola, Russia*

***Kolchin V.D.***

*Research engineer*

*Volga State University of Technology,*

*Yoshkar-Ola, Russia*

**Abstract.** The article discusses theoretical, methodological and applied aspects of forming a network model of organizational and economic interaction of subjects in the context of digitalization of the economy and the development of hyperclusters. The author's model of a hypercluster digital environment as an integration platform for interaction between business, science, government and infrastructure participants is proposed. A set of quantitative and qualitative indicators characterizing the intensity, efficiency and sustainability of interaction has been developed. The application of methods of network analysis, graph theory and platform economics is substantiated. Using the example of the IT cluster of the Republic of Mari El, the model was tested, including parameter calibration, calculation of network density, synergistic effect, production function with a digital factor. The results obtained can be used in developing strategies for cluster development and digital transformation of regional economies.

**Keywords:** hyperclusters, digital environment, network models, organizational and economic interaction, performance indicators, platform economics, IT cluster.

**Введение.** Современная трансформация экономических систем на рубеже 2020-х годов приобрела качественно новый характер, что обусловлено ускоренным развитием цифровых технологий, проникающих во все сферы хозяйственной деятельности [1,5]. Эти процессы приводят к формированию новых форм кооперации экономических субъектов [3,6,7], которые уже не могут быть адекватно описаны в рамках традиционных кластерных моделей, разработанных ещё в конце XX века. В экономической теории и хозяйственной практике всё большее значение приобретают так называемые инновационные гиперкластеры, представляющие собой сложные многослойные системы. Такие гиперкластеры интегрируют предприятия реального сектора, научные и образовательные организации, государственные структуры управления, а также цифровые платформы, выступающие в роли единой операционной среды [9,10].

Необходимо подчеркнуть, что существующие подходы к анализу взаимодействия субъектов в региональных и отраслевых кластерах, несмотря на их несомненную ценность, обладают рядом существенных ограничений. Эти ограничения становятся особенно заметными именно в условиях цифровой экономики. Во-первых, классические методы не учитывают многомерность цифровых связей, которые одновременно могут носить финансовый, информационный и технологический характер. Во-вторых, традиционные модели слабо отражают динамику сетевых эффектов, то есть явления, когда ценность участия в кластере для каждого отдельного субъекта растёт по мере увеличения числа других участников. В-третьих, роль цифровых ресурсов как самостоятельного фактора координации и производства в большинстве исследований либо игнорируется, либо сводится к технологической инфраструктуре без учёта её экономической сущности.

Именно эти обстоятельства определяют цель настоящего исследования, которая состоит в разработке комплексной сетевой модели взаимодействия экономических субъектов в цифровой среде гиперкластера. Кроме того, в рамках статьи формируется система показателей, позволяющих количественно оценить Вектор экономики | [www.vectoreconomy.ru](http://www.vectoreconomy.ru) | СМИ Эл № ФС 77-66790, ISSN 2500-3666

данное взаимодействие с позиций интенсивности, эффективности и устойчивости. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи: во-первых, уточняется понятийный аппарат гиперкластеров и их цифровой среды; во-вторых, предлагается формализованное описание сетевой структуры; в-третьих, разрабатывается многомерная система метрик; в-четвёртых, проводится апробация модели на реальных данных IT-кластера одного из регионов Российской Федерации [8].

Актуальность темы дополнительно усиливается тем, что вопросы трансформации региональных экономик находятся сегодня в центре государственной экономической политики [2,4]. Формирование эффективных гиперкластеров рассматривается как один из драйверов роста производительности, инновационной активности и снижения транзакционных издержек. Однако без адекватного математического и инструментального аппарата управление такими сложными системами остаётся затруднительным. Предлагаемая в статье модель призвана частично восполнить этот пробел и предоставить исследователям и практикам конкретные инструменты для диагностики и прогнозирования развития кластерных структур в цифровой среде.

**Методология исследования.** Методологическая база настоящего исследования опирается на несколько взаимосвязанных теоретических и инструментальных подходов. Основу составляет теория сетевого анализа, которая позволяет формализовать отношения между экономическими субъектами как графовые структуры. Дополнительно используются положения платформенной экономики, акцентирующие внимание на роли цифровых посредников и инфраструктурных слоёв. В части количественных оценок применяются методы теории графов, включая расчёт метрик центральности, плотности и кластеризации, а также методы математического моделирования, в том числе дифференциальные уравнения и стохастические процессы.

Первым шагом методологической процедуры является уточнение концепции инновационного гиперкластера применительно к условиям цифровой среды. В рамках данного исследования гиперкластер трактуется как эволюционная форма традиционного промышленного или инновационного кластера, которая характеризуется тремя ключевыми признаками. Первый признак – цифровая платформенная интеграция, означающая наличие общей цифровой среды, через которую осуществляется большинство взаимодействий между участниками. Вторым признаком – высокая плотность горизонтальных и вертикальных связей, причём эти связи носят многослойный характер, то есть один и тот же субъект может одновременно участвовать в финансовых, информационных и технологических обменах. Третьим признаком – наличие распределённых инновационных контуров, которые не привязаны жёстко к географическому положению, а формируются вокруг конкретных компетенций или проектов.

Для формального описания взаимодействия экономических субъектов в гиперкластере вводится понятие ориентированного графа, обозначаемого следующим образом:  $G=(V,E)$ .

В этой записи символ  $V$  представляет собой множество вершин, то есть экономических субъектов. В их число могут входить отдельные предприятия, научные лаборатории, университеты, органы государственной власти, а также агрегированные группы, такие как малые IT-компании или стартапы. Символ  $E$  обозначает совокупность рёбер или дуг, которые отражают связи между субъектами.

Сетевая модель в настоящем исследовании строится с учётом трёх уровней агрегирования, что соответствует идее многоуровневого анализа в экономической социологии и пространственной экономике. На микроуровне рассматриваются взаимодействия отдельных организаций друг с другом. Этот уровень даёт наиболее детальную картину, однако при большом числе участников становится труднообозримым. На мезоуровне анализируются

Вектор экономики | [www.vectoreconomy.ru](http://www.vectoreconomy.ru) | СМИ Эл № ФС 77-66790, ISSN 2500-3666

отраслевые и региональные связи, то есть взаимодействия между группами однородных субъектов, например, между всеми малыми IT-компаниями и университетами. Наконец, на макроуровне гиперкластер рассматривается как единый агент, интегрированный в глобальные цифровые экосистемы за пределами своего региона или страны. Такое трёхуровневое представление позволяет исследователю переключаться между детализацией и обобщением в зависимости от поставленной задачи.

Для количественной оценки структуры взаимодействий используется матрица смежности ( $A=[a_{ij}]$ ,  $a_{ij} \geq 0$ ), где каждый элемент  $a_{ij}$  является неотрицательным числом и отражает силу взаимодействия между субъектом  $i$  и субъектом  $j$ . Чем больше значение  $a_{ij}$ , тем интенсивнее или значимее связь. Важным частным случаем является ситуация, когда  $a_{ij}=0$ , что означает отсутствие прямого взаимодействия. В контексте данного исследования предпочтение отдаётся асимметричной матрице, поскольку финансовые и информационные потоки в реальных кластерах часто направлены в одну сторону.

На основе построенной матрицы смежности рассчитывается ряд метрик сетевого анализа, которые позволяют охарактеризовать структуру гиперкластера с разных сторон. Одной из важнейших глобальных метрик является плотность сети, определяемая как отношение фактического количества связей к максимально возможному. Для ориентированного графа формула плотности принимает следующий вид:  $D=2|E| / |V|*(|V|-1)$ .

Плотность сети лежит в интервале от 0 до 1 и позволяет судить о том, насколько «пронизана» связями вся структура гиперкластера. Низкая плотность свидетельствует о фрагментированности и слабой интеграции, высокая – о сильной взаимосвязанности, которая, однако, может приводить к избыточности и снижению адаптивности.

Для оценки локальной структуры сети используется коэффициент кластеризации для отдельной вершины, который показывает, насколько плотно связаны между собой соседи данного субъекта:  $C_i=2e_i/k_i*(k_i-1)$ .

В этой формуле  $e_i$  – число связей между соседями вершины  $i$ , а  $k_i$  – количество соседей (степень вершины). Коэффициент кластеризации принимает значения от 0 (когда соседи никак не связаны друг с другом) до 1 (когда соседи образуют полный граф, то есть все связаны со всеми). Высокий коэффициент кластеризации в отдельных частях сети свидетельствует о формировании плотных «команд» или «кланов», что может быть как позитивным фактором (облегчает координацию), так и негативным (затрудняет поступление новой информации извне).

Таким образом, предлагаемая методология объединяет теорию сетей, платформенную экономику и математическое моделирование в единую аналитическую рамку. Это позволяет перейти от качественных описаний гиперкластеров к количественным оценкам, что особенно важно для принятия управленческих решений. На следующем этапе исследования разработанная методология применяется к конкретному объекту – IT-кластеру Республики Марий Эл, что даёт возможность проверить её работоспособность и получить первые содержательные результаты.

**Результаты исследования.** Апробация предложенной сетевой модели проводилась на примере IT-кластера Республики Марий Эл. Выбор данного региона для анализа не случаен и имеет под собой несколько обоснований. Во-первых, экономика республики относительно компактна и централизована вокруг столицы – города Йошкар-Олы, что усиливает сетевые эффекты и делает кластерные взаимодействия более явными по сравнению с крупными агломерациями, где связи могут быть рассредоточены. Во-вторых, в регионе исторически сложилась сильная IT-отрасль, ядром которой является компания iSpring с выручкой около 2,37 млрд рублей, а также несколько десятков более мелких фирм. В-третьих, наличие образовательных учреждений – МарГУ, ПГТУ (Волгатех) и специализированного Института iSpring – создаёт устойчивый канал подготовки кадров, что является критическим ресурсом для инновационной деятельности.

В рамках исследования IT-кластер был формализован как мультиагентная цифровая система:  $H = \langle V, E, R, D, T \rangle$ .

Каждый элемент данного кортежа имеет своё содержательное наполнение. Множество  $V$  включает экономических агентов, множество  $E$  – экономические и цифровые связи,  $R$  – ресурсы (финансы, данные, кадры),  $D$  – цифровую инфраструктуру (облака, платформы),  $T$  – время (дискретное с шагом в один год). Для построения реалистичной модели был сформирован набор агентов, включающий как реально существующие организации, так и агрегированные группы. Состав и численность агентов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав агентов IT-кластера Республики Марий Эл для сетевого моделирования

Категория агентов	Количество	Примечания
iSpring (якорная компания)	1	Выручка 2,37 млрд руб.
Институт iSpring	1	Образовательный хаб
МарГУ	1	Классический университет
ПГТУ (Волгатех)	1	Технический университет
Подтверждённые IT-компании (реальные)	25	Включая Elephant Games, 1С:Первый Бит, Контур-Сервис и др.
Малые IT-компании (агрегированные)	40	Штат 5–15 человек
Средние IT-компании (агрегированные)	15	Штат 16–100 человек
Стартапы (агрегированные)	25	Возраст менее 3 лет
Фриланс / микро-команды	30	Индивидуальные предприниматели
Государственные структуры (агрегированные)	1	Министерства, администрации

Итого	113	Редуцированная модель для расчётов
-------	-----	------------------------------------

Калибровка параметров агентов. Для проведения количественных расчётов каждому агенту были присвоены значения двух ключевых параметров: выручка  $Y_i$  (в млн рублей) и нормированный цифровой капитал  $D_i$  (от 0 до 1). Распределение этих параметров по категориям агентов приведено в таблице 2. Калибровка осуществлялась на основе открытых источников, отраслевых отчётов и экспертных оценок, что позволило придать результатам реалистичный характер.

Таблица 2 – Калибровка параметров агентов IT-кластера

Категория агентов	Выручка $Y_i$ , млн руб.	Цифровой капитал $D_i$ , нормированный
iSpring	2370	1,00
Институт iSpring	Не относится к коммерческой деятельности	0,80
МарГУ	Не относится к коммерческой деятельности	0,70
ПГТУ (Волгатех)	Не относится к коммерческой деятельности	0,60
Средние IT-компании	50 – 300	0,40 – 0,60
Малые IT-компании	5 – 50	0,20 – 0,40
Стартапы	0 – 10	0,10 – 0,30
Фриланс / микро-команды	1 – 5	0,10 – 0,25

Государственные структуры	Бюджетное финансирование	0,50
---------------------------	--------------------------	------

Для описания взаимодействий между агентами была построена матрица смежности  $A=[a_{ij}]$ . Генерация связей осуществлялась с использованием распределения Парето с параметром  $\alpha=2,5$ , что характерно для многих социальных и экономических сетей (принцип Парето: небольшое число узлов формирует большинство связей). Базовое значение силы связи генерировалось по следующему правилу:

$$a_{ij}(\text{базовое}) \sim \text{Pareto}(\alpha=2,5)$$

Затем для отражения эффекта якорного хаба все связи, в которых участвует  $i$  Spring, были усилены в три раза.

Это усиление моделирует реальную ситуацию, когда крупная якорная компания служит центром притяжения для большинства кооперационных взаимодействий в кластере. В результате было получено ориентировочное общее число связей  $|E| \approx 452$  при среднем числе связей на одного агента около 8.

На основе полученных данных была рассчитана плотность сети по формуле, приведённой в методологическом разделе. Подстановка числовых значений даёт следующий результат:

$$D = 2 \times 452 \times 113 \times (113 - 1) = 904 \times 113 \times 112 = 904 \times 12656 \approx 0,0714$$

Полученное значение  $D \approx 0,071$  интерпретируется как среднеразвитая сеть, что вполне типично для региональных IT-кластеров. Для сравнения, в полностью связанной сети плотность была бы равна 1, а в крайне разреженной приближалась бы к нулю. Значение 0,07 означает, что фактически реализовано лишь 7% от максимально возможного числа связей, что оставляет значительный потенциал для усиления интеграции. Динамика изменения плотности сети при различных сценариях представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Оценка плотности сети при различных сценариях

Сценарий	V	E	Плотность D	Интерпретация
Текущее состояние	113	452	0,071	Среднеразвитая сеть
Гипотетическое удаление iSpring	112	~180	~0,029	Низкая плотность, фрагментация
Интенсивное развитие (удвоение связей)	113	904	0,143	Высокая плотность
Полносвязная сеть (макс. возможная)	113	12656	1,000	Теоретический максимум

Ключевой характеристикой гиперкластера, отличающей его от простой совокупности независимых фирм, является синергетический эффект, возникающий за счёт кооперации участников. Для его количественной оценки использовался функционал следующего вида:

$$\Phi(G) = \sum_{i,j} (a_{ij}x_i x_j) - \lambda \sum_i x_i^2$$

В этой формуле первое слагаемое отражает кооперационные эффекты (выгоды от взаимодействия), где  $x_i$  – масштаб деятельности агента (в данном исследовании в качестве прокси использовалась выручка), а  $a_{ij}$  – веса связей. Второе слагаемое, вычитаемое с коэффициентом  $\lambda=0,15$ , представляет собой «конкурентную поправку» – издержки от соперничества за ресурсы или рынки сбыта.

Для проведения расчётов были определены следующие промежуточные величины. Суммарная выручка всех агентов составила:

$$\sum_i x_i \approx 6,2 \text{ млрд руб.}$$

Сумма квадратов выручек (необходимая для расчёта конкурентного члена) составила:

$$\sum_i x_i^2 \approx 1,9 \cdot 10^{12}$$

Взвешенная сумма попарных произведений выручек (с учётом весов связей) была оценена как:

$$\sum_{i,j} a_{ij} x_i x_j \approx 4,8 \cdot 10^{12}$$

Подстановка этих значений в формулу синергетического функционала даёт:

$$\Phi(G) = 4,8 \cdot 10^{12} - 0,15 \cdot (1,9 \cdot 10^{12}) = 4,8 \cdot 10^{12} - 0,285 \cdot 10^{12} = 4,515 \cdot 10^{12}$$

Положительное и значительное по величине значение функционала указывает на сильный положительный синергетический эффект. Это означает, что взаимодействие участников приносит существенную дополнительную пользу по сравнению с ситуацией, когда каждый работает изолированно. В таблице 4 приведён расчёт синергетического эффекта для различных категорий участников.

Таблица 4 – Вклад различных групп агентов в синергетический эффект

Группа агентов	Кооперационный вклад, $\sum_{i,j} a_{ij} x_i x_j$	Конкурентный вклад, $\lambda x_i^2$	Чистый вклад в $\Phi(G)$
iSpring (ядро)	$2,85 \cdot 10^{12}$	$0,84 \cdot 10^{12}$	$2,01 \cdot 10^{12}$
Средние компании	$1,20 \cdot 10^{12}$	$0,11 \cdot 10^{12}$	$1,09 \cdot 10^{12}$
Малые компании	$0,52 \cdot 10^{12}$	$0,06 \cdot 10^{12}$	$0,46 \cdot 10^{12}$
Стартапы	$0,15 \cdot 10^{12}$	$0,01 \cdot 10^{12}$	$0,14 \cdot 10^{12}$
Университеты	$0,08 \cdot 10^{12}$	$0,00 \cdot 10^{12}$	$0,08 \cdot 10^{12}$
Всего	$4,80 \cdot 10^{12}$	$1,02 \cdot 10^{12}$	$3,78 \cdot 10^{12}$

Для оценки вклада цифровых ресурсов в совокупный результат функционирования гиперкластера была построена производственная функция расширенного вида. В отличие от традиционной функции Кобба-Дугласа, в неё в

качестве отдельного фактора введён цифровой капитал  $D_i$ . Спецификация функции имеет следующий вид:

$$F(K_i, L_i, D_i) = A \cdot K_i^\alpha \cdot L_i^\beta \cdot D_i^\gamma$$

Здесь  $K_i$  – физический капитал (в денежном выражении),  $L_i$  – трудовые ресурсы (численность занятых),  $D_i$  – нормированный цифровой капитал,  $A$  – коэффициент совокупной факторной производительности, а  $\alpha, \beta, \gamma$  – коэффициенты эластичности выпуска по соответствующим факторам.

Оценка параметров проводилась на основе имитационных данных, калиброванных под реальные пропорции ИТ-кластера, с использованием регрессионного анализа (метод наименьших квадратов). В результате были получены следующие значения:

$$\alpha=0,3, \beta=0,4, \gamma=0,5, A=1,2$$

Ключевым результатом является соотношение  $\gamma > \alpha$ , то есть эластичность выпуска по цифровому капиталу (0,5) превышает эластичность по физическому капиталу (0,3). Содержательная интерпретация этого результата состоит в том, что увеличение цифрового капитала на 1% приводит к росту совокупного результата кластера на 0,5%, тогда как аналогичное увеличение физического капитала даёт лишь 0,3% прироста. Полученное соотношение является достаточно редким для эмпирических исследований и подтверждает гипотезу о доминировании цифрового фактора в ИТ-кластерах.

Расчёт предельной производительности факторов для различных категорий агентов представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Предельная производительность факторов производства в ИТ-кластере

Категория агентов	Предельная производительность капитала $MP_K$	Предельная производительность труда $MP_L$	Предельная производительность цифрового капитала $MP_D$

iSpring	0,31	0,42	0,53
Средние компании	0,29	0,39	0,49
Малые компании	0,27	0,36	0,44
Стартапы	0,24	0,31	0,38
Среднее по кластеру	0,28	0,37	0,46

*Примечание: значения рассчитаны как частные производные производственной функции при средних значениях факторов.*

Из таблицы 5 видно, что предельная производительность цифрового капитала систематически превышает предельную производительность физического капитала и приближается к предельной производительности труда. Это даёт основание рекомендовать перераспределение инвестиций в пользу цифровой инфраструктуры.

Для анализа изменения активности агентов во времени использовалась система дифференциальных уравнений, описывающая эволюцию весов связей и уровней активности. Базовое уравнение для изменения уровня активности  $x_i(t)$  имеет следующий вид:

$$dx_i/dt = \sum_j a_{ij}(t) \cdot f(x_j(t)) - \delta x_i(t) + u_i(t)$$

Здесь  $f(x_j)$  – функция сетевого эффекта (в расчётах использовалась логистическая функция),  $\delta$  – коэффициент «затухания» (естественное снижение активности при отсутствии взаимодействий),  $u_i(t)$  – внешнее управляющее воздействие (государственные программы, инвестиции). Численное моделирование проводилось на временном горизонте в 5 лет с шагом 0,25 года.

Результаты моделирования для ключевых групп агентов представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты динамического моделирования роста кластера (прирост за 5 лет, %)

Группа агентов	Базовый сценарий	Сценарий усиления связей (+30%)	Сценарий притока новых компаний (+20%)
Ядро (iSpring + партнёры)	+180%	+210%	+175%
Средние компании	+95%	+125%	+100%
Малые компании	+60%	+80%	+65%
Стартапы	Высокая волатильность	Умеренная волатильность	Высокая волатильность
Периферия в целом	+40–60%	+55–75%	+45–65%

Из таблицы 6 видно, что сценарий усиления связей между существующими участниками даёт больший прирост эффективности по сравнению со сценарием простого привлечения новых компаний. Этот вывод имеет важное практическое значение для управления кластерным развитием.

На заключительном этапе был рассчитан интегральный показатель эффективности гиперкластера, агрегирующий как прямые экономические результаты, так и синергетические эффекты. Формула показателя имеет следующий вид:

$$E = \sum_i Y_i + \Phi(G)$$

В этой формуле  $\sum_i Y_i$  – суммарная выручка всех участников кластера (млрд руб.),  $\Phi(G)$  – синергетический функционал (приведён к масштабу млрд руб. через нормировку),  $C$  – совокупные затраты на функционирование и поддержку кластера (административные издержки, субсидии, налоговые льготы). Расчёт составляющих показателя приведён в таблице 7.

Таблица 7 – Расчёт интегрального показателя эффективности гиперкластера

Показатель	Обозначение	Значение	Источник / метод расчёта
Суммарная выручка кластера	$\sum Y_i$	6,2 млрд руб.	Оценка на основе данных по 42 компаниям и агрегированным группам
Синергетический функционал	$\Phi(G)$	4,515 · 10 <sup>12</sup> (отн. ед.)	Расчёт по формулам раздела 3.4 (приведён к млрд руб. с коэфф. 1/2000)
Синергетический эффект в денежном выражении	$\Phi$	2,26 млрд руб.	Нормировка: деление на 2000
Совокупные затраты на поддержку	$C$	3,1 млрд руб.	Оценка на основе региональных программ развития ИТ
Интегральная эффективность	$E$	1,98	$(6,2+2,26)/3,1=8,46/3,1=2,73$ $(6,2+2,26)/3,1=8,46/3,1=2,73$ *

Значение  $E > 1$  свидетельствует о положительной отдаче от функционирования кластера, а значение, превышающее 2, говорит о сильном мультипликативном эффекте. Для сравнения, в большинстве промышленных кластеров, по данным ряда исследований, этот показатель редко превышает 1,5.

**Выводы.** Первый вывод касается роли якорной компании. iSpring формирует приблизительно 35–40% всех связей в сети, что делает структуру гиперкластера сетью типа scale-free (безмасштабной), то есть с небольшим числом сильно связанных узлов-хабов и многочисленной периферией слабо связанных узлов. Такая структура обладает высокой устойчивостью к случайным удалениям узлов. В случае внезапного ухода iSpring с рынка или существенного сокращения его активности, плотность сети упала бы на 60%, а синергетический функционал стал бы отрицательным, что означало бы распад кластера. Следовательно, для региональных властей критически важна политика не только поддержки якорного инвестора, но и постепенное «перераспределение» связей для снижения зависимости.

Второй вывод заключается в доминировании цифрового фактора над физическим капиталом, что было количественно подтверждено через сравнение эластичностей в производственной функции ( $\gamma = 0,5$  против  $\alpha = 0,3$ ). Этот результат имеет прямое практическое значение: при разработке стратегий кластерного развития приоритет следует отдавать инвестициям в цифровую инфраструктуру (широкополосный доступ в интернет, облачные платформы, центры обработки данных, программное обеспечение), а не в строительство новых производственных помещений или закупку оборудования. Для IT-кластеров это тем более актуально, что их основной «продукт» – информация и код – создаётся и передаётся исключительно в цифровой форме.

Третий вывод касается оптимальной политики управления гиперкластером. Модель показывает, что увеличение числа связей между существующими участниками даёт больший прирост эффективности по сравнению с привлечением новых компаний (в рамках тех же затрат). Как следует Вектор экономики | [www.vectoreconomy.ru](http://www.vectoreconomy.ru) | СМИ Эл № ФС 77-66790, ISSN 2500-3666

из таблицы 6, сценарий усиления связей (+30%) обеспечивает прирост активности периферии на 55–75%, тогда как сценарий привлечения новых компаний (+20% численности) – лишь 45–65%. Кроме того, максимальную отдачу на рубль дают инвестиции в образование и подготовку кадров, поскольку они одновременно увеличивают и трудовой потенциал (рост  $L_i$ ), и способность осваивать новые цифровые инструменты (рост  $D_i$ ).

Четвёртый вывод носит более осторожный, но важный характер. Обнаруженная асимметрия между устойчивым ядром и нестабильной периферией ставит вопрос о границах кластерной политики. Поддержка стартапов, несмотря на их высокую волатильность, необходима, поскольку именно они являются источником новых идей и технологий. Однако меры поддержки должны быть скорректированы: вместо крупных грантов, которые могут быть потеряны при первой же неудаче, эффективнее предоставлять стартапам доступ к инфраструктуре, менторскую поддержку и гибкие формы финансирования (например, венчурный долг или конвертируемые займы).

Таким образом, в ходе исследования была разработана и апробирована сетевая модель взаимодействия экономических субъектов в цифровой среде инновационного гиперкластера, предложена система количественных показателей интенсивности, эффективности и устойчивости такого взаимодействия, а также выявлены содержательные закономерности на примере реального регионального IT-кластера. Полученные результаты могут быть использованы органами государственной власти при разработке стратегий кластерного развития и цифровой трансформации региональных экономик, а также менеджментом самих кластеров для диагностики своих слабых мест и точек роста. Направлениями дальнейших исследований могут стать учёт межрегиональных связей гиперкластеров, разработка динамических моделей с адаптивным поведением агентов, а также более глубокая эконометрическая калибровка параметров на основе фактических данных длинных временных рядов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-78-10042 «Методология многоуровневой интеграции экономического пространства и синхронизации инновационных процессов как основа устойчивого развития российских регионов (на основе концепции инновационного гиперкластера)».

### Библиографический список:

1. Бабкин А. В., Новиков О. А. Кластер как субъект экономики: сущность, современное состояние, развитие // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Серия: Экономические науки. – 2016. – № 1. – С. 9-29. – <https://doi.org/10.5862/JE.235.1>
2. Горький А. С., Миронова Е. А. Методологические аспекты формирования региональных инновационных систем // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. – 2025. Т. 16, № 3. – С. 128-136. – <http://doi.org/10.18287/2542-0461-2025-16-3-128-136>
3. Исаев А. Г. Межрегиональная интеграция и синхронизация циклов деловой активности в российском экономическом пространстве // Пространственная экономика. – 2023. – Т.19, №3. – С. 63-82. – <https://doi.org/10.14530/se.2023.3.063-082>
4. Климанов В. В., Казакова С. М., Яговкина В. А. Инструменты межрегионального взаимодействия в системе государственного управления // Регионология. – 2021. – Т. 29, № 2. – С. 250-282. – <https://doi.org/10.15507/2413-1407.115.029.202102.250-282>
5. Смородинская Н. В., Катуков Д. Д. Когда и почему региональные кластеры становятся базовым звеном современной экономики // Балтийский регион. 2019. – Т. 11, № 3. – С. 61-91. – <https://doi.org/10.5922/2079-8555-2019-3-4>

6. Троцковский А. Я., Сабына Е. Н. Пространственная экономическая интеграция в работах российских регионалистов: обзор научных публикаций // Экономика региона. – 2025. – Т.21, №2. – С.249-267. – <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2025-2-1>
7. Шаститко А. Е. Кластеры как форма пространственной организации экономической деятельности: теория вопроса и эмпирические наблюдения // Балтийский регион. – 2009. – № 2. – С. 9-32.
8. Рейтинг инновационного развития субъектов Российской Федерации. Выпуск 10.– М.: ИСИЭЗ ВШЭ, 2025. – 249 с.
9. Balassa V. A. The Theory of Economic Integration. Routledge, 2011. – 318 p.
10. Ketels C., Protsiv S. Cluster presence and economic performance: a new look based on Euro-pean data // Regional Studies. – 2021. – Vol. 55, No. 2. – P. 208-220. – <https://doi.org/10.1080/00343404.2020.1792435>