

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ЭМПИРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

## Метрики центральности сетевого анализа как инструмент определения уровня абстракции понятий внутри понятийной структуры обучающихся

Андропова Е.Ю.<sup>1</sup>, Капуза А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

В статье исследуется проблема изучения понятий как системных элементов понятийной структуры в контексте положений культурно-исторической психологии Л.С. Выготского. Одной из ключевых характеристик понятия является уровень абстракции, который отображает степень обобщенности понятия в системе других понятий. Однако существующие методы классификации уровней абстракции понятий лишены унифицированного подхода, что затрудняет их применение в эмпирических исследованиях. Целью исследования являлось изучение метрик центральности посредничества и центральности степени как инструмента различения понятий разного уровня внутри сформированной понятийной структуры. Для проверки поставленных в работе гипотез было проанализировано 242 понятия из концептуальных карт семи экспертов в области статистического анализа данных в социальных науках и семи студентов, завершивших полугодовой курс по статистическому анализу данных. Сначала был проведен качественный анализ понятий с помощью формальных определений и экспертной оценки отдельных концептуальных карт. Далее были применены метрики центральности посредничества и степени для изучения возможности их использования в качестве инструмента различения понятий разного уровня внутри понятийной структуры. Результаты продемонстрировали, что центральность посредничества и нормированная центральность посредничества значимо отличались между уровнями понятий: высоко абстрактные понятия имели более высокие показатели, чем средние и низко абстрактные. Количество связей (центральность степени) различалось в зависимости от способа классификации: при классификации по определению все различия между группами были значимы, тогда как при классификации по картам различия наблюдались только для низкого уровня абстракции. При этом количество входящих связей, несмотря на теоретические предпосылки, не показало различительной способности. На основании полученных результатов можно полагать, что сетевой анализ демонстрирует потенциал не только в оценке системных характеристик понятийной структуры, но и роли отдельных понятий в ней.

**Ключевые слова:** понятийная структура, уровни абстракции понятий, концептуальные карты, сетевой анализ, культурно-историческая теория

## Введение

Понятия являются основополагающими единицами психической жизни человека, играя ключевую роль в усвоении, обработке, хранении и использовании информации, а также в построении знаний и коммуникации [Холодная, 2012; Goldstone et al., 2018; Medin, 1989; Smith, Medin, 1981; Knowledge, concepts, and categories, 1997]. Понятия и понятийное мышление является объектом изучения многих областей знания: формальной логики, лингвистики и, конечно, психологии. И каждая из этих областей предлагает свой взгляд на природу этого феномена и подходы к его описанию. Так, например, лингвистика особенно фокусируется на понятии как соотношении знака (слова) и значения (содержания) в контексте человеческой речи и культуре [Выготский, 1934; Холодная, 2012]. Психология же, в свою очередь, изучает понятия с точки зрения их значения в процессе формирования, упорядочивания и использования человеком информации об окружающем мире.

Существуют различные подходы к определению того, что такое понятие. Так, в англоязычной литературе понятие (concept) определяется как «ментальная репрезентация (идея) объектов/сущностей (entities)» [Goldstone et al., 2018]. При таком подходе понятия представляют собой отраженный ментальный образ объектов или феноменов внешнего мира, построенный на основе их характеристик и ситуационного контекста, являясь базой для дальнейшего процесса категоризации объектов или феноменов [Goldstone et al., 2018; Medin, 1989; Murphy, Lassaline, 1997; Rosch et al., 1976; Knowledge, concepts, and categories, 1997].

Принципиально иным представляется определение, данное понятию в рамках культурно-исторической теории (КИТ). Так, Лев Семенович Выготский писал, что «понятие представляет собой не простую совокупность ассоциативных связей, усваиваемую с помощью памяти, не автоматический умственный навык, а сложный и подлинный акт мышления, которым нельзя овладеть путем простого заучивания, но который непременно требует, чтобы мысль ребенка сама поднялась в своем внутреннем развитии на высшую ступень, для того чтобы понятие могло возникнуть в сознании. Исследование учит нас, что понятие на любой ступени своего развития представляет собой с психологической стороны акт обобщения» [1934, с. 165] (курсив — авт.).

Другими словами, в интерпретации Л.С. Выгот-

ского понятие является не просто пассивным ментальным отражением объекта внешнего мира, а результатом направленного акта мышления — обобщения [Выготский, 1934]. Формирование и усвоение понятия происходят посредством направленного умственного действия в процессе синтеза общественного и индивидуального опыта. Кроме того, понятие репрезентирует целый класс отдельных единиц, обобщенных на основе их характерных признаков и функций и неразрывно связано со знаковой системой (словами), благодаря которой возможно закрепление результата процесса обобщения и дальнейшее оперирование понятием.

Одной из особенностей взгляда КИТ на становление понятий является разделение процесса усвоения «житейских» и «научных» понятий. Гипотеза Л.С. Выготского заключалась в том, что ход формирования научных понятий противоположен житейским. Житейские понятия формируются в ходе естественного психического развития ребенка и движутся в направлении от конкретных, частных значений до обобщенных абстрактных, проходя несколько ступеней, где формирование мышления в истинных понятиях является последней ступенью развития мышления ребенка [Выготский, 1934]. Житейское понятие формируется «снизу вверх»: в процессе становления оно проходит путь от построения конкретных и наглядных взаимосвязей между предметами до постепенного усложнения взгляда на эти взаимосвязи и способности выделять и обобщать только существенные из них. Однако научные понятия (те, которые усваиваются в ходе специально организованной учебной деятельности, например, в школе), согласно Л.С. Выготскому, усваиваются в обратном направлении — от введения формального определения, описывающего общие ключевые свойства и характеристики объектов или феноменов, к выявлению более частных случаев. Кроме того, научные понятия принципиально отличаются от житейских своей изначальной осознанностью ключевых характеристик, присущих объектам, которые обобщаются в понятие.

Выготский приводит в качестве примера следующее наблюдение: для школьника раскрытие и определение такого формального знания, как закон Архимеда, дается проще, чем раскрытие и определение понятия «брат». Если в раскрытии закона Архимеда школьник может опираться на действительно важные, ключевые обобщенные признаки этого закона, то при определении понятия «брат» ребенок имеет тенденцию описывать это поня-

тие на основе конкретных, присутствующих в его опыте связей. Здесь выдвигается гипотеза о том, что в ходе своего развития, пройдя много ступеней, ребенок имел знание о том, что такое «брат» еще до того момента, когда он научился определять само это понятие. Само понятие уже прошло необходимые этапы своего формирования и в какой-то степени исчерпало необходимость формального его определения для непосредственного использования в речи в связи с богатым личным опытом ребенка. В свою очередь для оперирования понятием «закон Архимеда» недостаточно одного эмпирического опыта без дополнительного введения самого определения этого понятия.

При этом важно отметить, что научные и житейские понятия не противопоставляются, а взаимно дополняют друг друга, формируя основу для успешного обучения. Так, Цукерман и др. [2017] подчеркивают, что житейские понятия играют ключевую роль в усвоении научных, связывая абстрактные концепты с реальным опытом. Например, понятие «вес» в житейском понимании становится базой для освоения научного термина «сила тяжести». Исаев и др. [2021] отмечают, что научные понятия, опираясь на житейские, придают знаниям системность и позволяют учащимся глубже осознавать взаимосвязь между теорией и практикой.

Ключевыми характеристиками научных понятий, отличающими их от житейских, Л.С. Выготский называл изначальную осознанность и произвольность, которые достигаются посредством заданного словесного определения. Еще одной важной характеристикой научного понятия является его системность, изначальная включенность в систему других понятий: «научное понятие благодаря тому, что оно является научным по самой своей природе, предполагает какое-то место в системе понятий, определяющее его отношение к другим понятиям» [Выготский, 1934, с. 208]. Осознанность и произвольность достигаются через включение научного понятия в уже имеющуюся понятийную систему за счет выстраивания структурных отношений между понятиями внутри нее.

Системность понятий играет важную роль в основополагающих подходах к обучению в системе формального образования, например, в развивающем обучении Эльконина-Давыдова и системно-деятельностном подходе. Так, оба этих подхода направлены на самостоятельное и последовательное формирование и развитие ребенком понятий в системе предыдущих знаний, находящихся в зоне его ближайшего развития. При этом В.В. Рубцов,

А.А. Марголис и В.А. Гуружапов отмечают, что даже после введения ФГОС, основанного на системно-деятельностном подходе, «наиболее проблемным местом в организации учебного процесса является развитие теоретического мышления учащихся, формирование понятий, необходимых для формирования метапредметных компетенций» [Рубцов и др., 2010, с. 63].

Однако наблюдение и измерение системности научных понятий представляет собой определенный вызов. Наиболее релевантным на данный момент методом такого измерения являются концептуальные карты. Концептуальные карты — это структурированное представление знаний, которое используется для визуализации и анализа связей между понятиями и позволяет лучше понять, как учащиеся или исследователи организуют информацию в рамках конкретной области знаний [Novak, 1990]. Концептуальная карта обычно состоит из узлов, представляющих собой понятия, и направленных отношений (или связей), которые соединяют эти понятия и описывают их взаимосвязи (например, «является частью», «относится к», «следует из» и так далее). Использование концептуальных карт как метода изучения понятийной структуры в целом и отдельных понятий в частности согласуется с идеей Л.С. Выготского о знаковом выражении и системной природе научных понятий, поскольку, по сути, концептуальная карта представляет собой знаково оформленную структуру смысловых связей, через которую становится наблюдаемой системная организация понятий.

Для обработки и подсчета различных системных характеристик концептуальных карт все чаще используется подход, интегрирующий метрики из сетевого анализа (network analysis). Сетевой анализ предоставляет важные теоретические основы для исследований различных сетей благодаря математическим моделям графов с хорошо описанными свойствами и наличием установленных статистических методов, которые позволяют анализировать структуру сетей (например, Newman, 2018).

Этот метод может быть особенно полезен в контексте анализа понятийной структуры, так как позволяет увидеть место каждого научного понятия в системе знаний, а не рассматривать его изолированно. Ведь, как было отмечено ранее, именно системность научных понятий позволяет каждому понятию приобретать уникальное значение и место в структуре знаний, поскольку понятия в системе не существуют автономно. Как отмечает

Л.С. Выготский [1934], изолированное понятие меняет свою психологическую природу и теряет часть своей познавательной ценности. Понятие, взятое в системе, становится более содержательным и глубоким, а его изучение требует анализа структуры связей с другими понятиями, что позволяет понять объект на более высоком уровне. И сетевой анализ как инструмент оценки понятийной структуры дает нам возможность изучить эту систему холистически.

Сетевой анализ активно используется для оценки понятийной структуры с точки зрения таких системных свойств, как связанность, сбалансированность, иерархичность [Тюменева и др., 2017]. Этот метод показал себя как многообещающий инструмент для оценки понятийной структуры через, например, различие в метриках между новичками и экспертами [Каруза, 2020; Каруза et al., 2020]. Тем не менее, кроме общих системных характеристик кажется необходимым обратиться также и к более содержательным характеристикам самих понятий. Одной из ключевых характеристик понятия является мера его обобщенности (соотношение объема к содержанию) выраженная в уровне абстракции понятия [Выготский, 1934; Rosch et al., 1976].

В ряде работ подчеркивается, что функциональная роль понятия или категории связана с уровнем их абстракции. Так, в своих исследованиях Э. Рош и коллеги [Rosch, 1976; Rosch et al., 1976] предложили выделить три уровня абстракции естественных категорий: подчиненный (*subordinate*), базовый (*basic*) и вышестоящий (*superordinate*). Подчиненный уровень характеризуется наиболее конкретными и узкоспециализированными понятиями, базовый уровень представлен наиболее информативными и наименее когнитивно-затратными категориями с типичными признаками и образами (прототипами), а вышестоящий уровень — более обобщенными и абстрактными понятиями, охватывающими широкий класс объектов. Степень обобщенности понятий увеличивается от подчиненного уровня (самые конкретные) к вышестоящему (самые абстрактные). Например, в ряду «млекопитающее – собака – пудель», «млекопитающее» будет относиться к вышестоящему уровню, «собака» — к базовому, «пудель» — к подчиненному. Именно понятия базового уровня, обладающие в иерархии средней степенью обобщенности, согласно теории Э. Рош, являются наиболее часто употребляемыми в речи и усваиваются в ходе естественного когнитивного развития одними из первых [Goldstone et al., 2018; Murphy,

Lassaline, 1997]. Общая идея о том, что функция и роль понятия или категории в процессе восприятия, обработки и использования информации связана с уровнем их абстракции, стала основанием выбора этой характеристики понятия в текущем исследовании.

При этом важно отметить, что теоретическая модель Э. Рош в настоящей работе использована в качестве эвристической основы для разделения понятий на три уровня абстракции. В отличие от классического деления понятий на родовые и видовые [Талызина и др., 2024], данный подход может обеспечить более детализированный анализ абстракции научных понятий, отражая их вариативность в рамках понятийной структуры. Другими словами, в работе была заимствована идея подхода Э. Рош, но не содержательное наполнение уровней абстракции, то функциональное назначение, которое присутствовало в оригинальной теории. В связи с этим, во избежание концептуальной и терминологической путаницы, в настоящей работе уровни абстракции будут обозначаться как «высокий», «средний» и «низкий». Высокий уровень отражает наиболее общие понятия, а низкий, соответственно, — наиболее конкретные.

Однако несмотря на то, что по результатам своей работы Э. Рош вывела и назвала эти три условных уровня абстракции [Rosch et al., 1976; Rosch, 1978], задача самого определения уровня абстракции понятий остается нерешенной. Существующие подходы, такие как экспертная оценка, обладают рядом ограничений, включая субъективность, трудоемкость и низкую обобщаемость.

Исследователи когнитивной психологии предлагали использовать различные метрики для оценки процесса категоризации, включая анализ сходства внутри и между категориями, а также когнитивные эксперименты для измерения скорости и точности идентификации объектов [Corter, Gluck, 1992; Murphy, Lassaline, 1997; Rosch, 1978; Smith, Medin, 1981]. Тем не менее, эти метрики демонстрируют ограниченную применимость в рамках поставленной в нашем исследовании задачи. Во-первых, среди исследователей отсутствует консенсус относительно наиболее точного подхода к распределению понятий по уровням [Corter, Gluck, 1992; Medin, 1989]. Во-вторых, данные методы преимущественно предназначены для изучения процессов категоризации и изучения роли понятий базового уровня в повседневном контексте, а не для анализа понятийной структуры, формирующейся в ходе формального образования и включающей научные понятия.

Наиболее потенциально подходящим вариантом остается так называемый «классический подход», предполагающий, что понятия выстраиваются во внутреннюю иерархию на основе признаков, заданных в определении [Medin, 1989]. Учитывая, что научные понятия, согласно гипотезе Л.С. Выготского, зачастую встраиваются в систему на основании заданного формального определения, кажется, что классический подход, несмотря на свою ограниченность, может оказаться полезным для наших целей. Однако даже в этом случае отсутствуют унифицированные стандарты для измерения уровня абстракции понятий.

Учитывая успешное применение сетевого анализа для оценки понятийной структуры с позиции системных характеристик [Karuzza et al., 2020], у нас есть основания предполагать, что он может оказаться подходящим и для оценки понятий, которые в понятийной структуре являются узлами. В частности, можно посмотреть на метрики центральности, которые в сетевом анализе отображают «важность узла» [Estrada, 2016; Newman, 2018]. Важность узла — это показатель, отражающий роль или влияние узла (то есть элемента сети) в структуре сети. Она определяется через специальные метрики, которые позволяют оценить, как узел взаимодействует с другими элементами сети и какое значение имеет для ее функционирования.

Если перенести это в содержательную плоскость роли отдельных понятий в развитии понятийной структуры, эти «важные узлы» могут содержательно являться тем, что в работах В.В. Давыдова о развитии мышления [Давыдов, 1972] называлось генетически-исходной абстракцией. Такие «генетически исходные абстракции» позже описывали через метафору germ cell (зародышевая клетка), отсылая к понятию, в содержании которого уже есть потенциал формирования понятийной структуры, отражающий изучаемую предметную область [Цукерман, Обухова, 2024]. Однако в данной работе динамика формирования понятийной структуры не рассматривается, поскольку основное внимание сосредоточено на решении методологической задачи: разработке и оценке инструмента, с помощью которого могут быть исследованы уровни абстракции понятий в уже сформировавшихся структурах.

Основной мерой важности узлов в сети является центральность, которая может быть использована для выявления ключевых узлов, которые играют важную роль в передаче информации. Различные меры центральности могут учитывать разные аспекты, такие как количество связей, расстояние

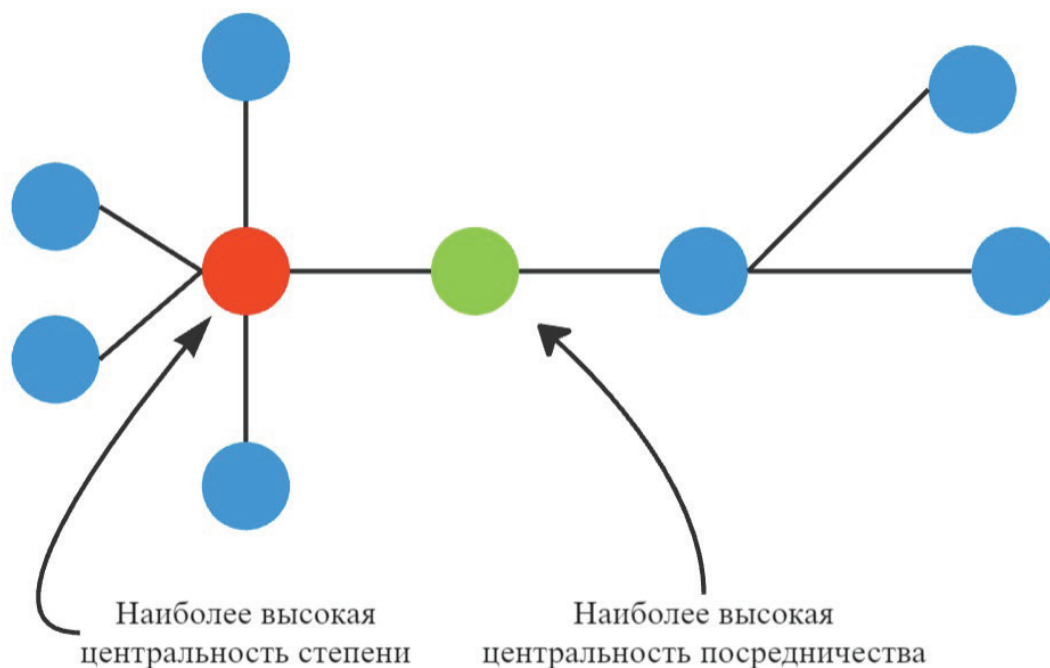
до других узлов, важность связей и т. д.

В качестве потенциальных метрик, которые могут раскрывать для нас понятие с точки зрения его места в структуре, наиболее подходящими представляются метрики центральности посредничества (betweenness centrality) и центральности степени (degree centrality) (рис. 1). Можно предположить, что наиболее часто используемые понятия, которые играют роль в процессе решения задач, будут занимать центральные позиции в понятийной структуре, являясь основными связующими элементами между другими понятиями.

Центральность посредничества позволяет измерить, насколько часто понятие становится «мостом» в сети, соединяющим различные узлы. В контексте концептуальных карт это может указывать на ключевые понятия, через которые происходит переход от одной группы знаний к другой. Например, в области биологии понятие «клетка» может иметь высокую центральность посредничества, так как оно связывает между собой понятия, относящиеся к клеточной структуре, метаболизму, генетике и многим другим аспектам. Высокий показатель центральности посредничества позволяет выделить понятия, которые играют особую роль в когнитивной структуре, помогая учащимся соединять разрозненные элементы знаний в единую систему.

Центральность степени, в свою очередь, измеряет количество прямых связей, которыми обладает конкретное понятие. Понятия с высокой центральностью степени могут указывать на основополагающие элементы, которые связывают с собой множество других концептов и определяют структуру понятийной карты. Эти понятия часто оказываются фундаментальными в образовательном контексте, так как их понимание необходимо для освоения более сложных и абстрактных тем. Например, в математике понятие «число» будет иметь высокую степень центральности, так как связано с множеством других понятий, таких как арифметические операции, алгебраические выражения и математические структуры.

Метрики центральности, такие как центральность посредничества и центральность степени, потенциально могут помочь оценить роль отдельных понятий в понятийной структуре, давая нам возможность оценить их значимость для сети. Изучив особенности работы метрик при оценивании понятийной структуры и научившись интерпретировать их показатели, исследователи могут получить инструмент для более углубленного и



**Рис. 1.** Пример метрик центральности

целостного ее анализа, который потенциально позволит проводить более масштабные исследования, так как будет более объективным и менее ресурсозатратным по сравнению с качественными методами оценки.

Однако, поскольку метрики сетевого анализа еще не применялись в качестве инструмента оценки такого сложного феномена, как содержание понятия, необходимо предварительно проанализировать, что именно эти метрики отображают в контексте их применения к понятийной структуре. Для валидации и объяснения метрик на данном этапе необходимо провести качественную оценку содержания понятий, опираясь на экспертное мнение и формальные определения, с последующим отнесением понятий к определенным уровням абстракции.

Целью работы является изучение метрик центральности посредничества и центральности степени как инструмента различения понятий разного уровня внутри сформированной понятийной структуры.

Для достижения поставленной цели были проверены следующие гипотезы:

Гипотеза 1: Показатели метрик центральности посредничества и центральности степени различаются у понятий разного уровня абстракции

Гипотеза 2: Показатели метрик центральности степени будут наиболее высокими у понятий, от-

несенных к среднему уровню абстракции, за счет наибольшего количества входящих и исходящих связей.

Гипотеза 3: Показатели метрик центральности посредничества будут наиболее высокими у понятий среднего уровня, так как они ввиду средней степени обобщенности будут связывать более абстрактные и более конкретные понятия между собой.

Гипотеза 4: Различение по уровням абстракции с помощью метрик сетевого анализа будет более четким при применении этих метрик к понятиям, разделенным по уровням абстракции на основе концептуальных карт, а не формальных определений.

Для этого был проведен качественный и количественный анализ концептуальных карт экспертов и студентов в области статистического анализа данных в социальных науках. Выбор области статистического анализа был обоснован, во-первых, наличием строгого терминологического согласия: базовые термины (например, нормальное распределение) остаются неизменными, а их определения довольно похожи в своем содержании вне зависимости от области применения статистического анализа, культурных особенностей, языка изложения. Это создает стабильную и унифицированную среду для более объективного анализа понятийной структуры. Кроме того, статистика имеет прочное теоретическое основание, вытекающее из теории вероятностей, которая развивалась более трех сто-

летий. И, как и любая развитая теория, перешедшая в практическую плоскость, статистика включает в себя понятия разного уровня абстракции: от очень общих (например, вероятность) до более конкретных (например, р-значение) и узкоспециализированных технических терминов (например, нулевая гипотеза, t-критерий).

## Процедура и методика исследования

### Выборка

Выборка исследования включала в себя 14 участников. Семь из них являлись преподавателями и исследователями в области психологии и образования, которые регулярно используют статистический анализ данных в своей работе, преподают дисциплины, связанные со статистическим анализом данных, три или более года, а также имеют не менее трех публикаций с использованием в качестве основных методов статистического анализа данных в рецензируемых журналах. Еще семь являлись студентами магистратуры, прошедшими полугодовой курс базовых методов статистического анализа данных в социальных науках. Рекрутирование осуществлялось методом «снежного кома»; участие было добровольным и не предполагало вознаграждения.

В общей сложности было получено 14 концептуальных карт с 242 понятиями, из которых 53 оказались уникальными, что свидетельствует о насыщенности данных, поскольку значительная часть понятий повторялась среди респондентов. Так как исследование имело смешанный дизайн и включало в себя большую часть качественного анализа понятий, то выборка в 14 респондентов оказалась достаточной, чтобы провести экспертную классификацию понятий по уровням абстракции. Кроме того, такая структура выборки (сочетание участников с высокой и низкой степенью экспертности в исследуемой области) позволяет учесть потенциальное разнообразие используемых понятий и нивелировать возможное воздействие уровня экспертности (например, если бы все участники были студентами, то, возможно, они бы не использовали ряд понятий).

### Процедура

В качестве метода сбора данных были использованы концептуальные карты на тему «Статистический анализ данных в социальных науках», нарисованные респондентами от руки на листе

A4. Сначала участникам были предоставлены письменные инструкции и наглядные примеры, описывающие, что такое концептуальные карты и как их строить. Затем они получали следующую общую инструкцию: «Используя чистый лист бумаги формата A4, нарисуйте от руки концептуальную карту, представляющую область статистического анализа данных». Для дальнейшего анализа концептуальные карты, нарисованные респондентами от руки, были преобразованы в цифровой вид (пример на рис. 2).

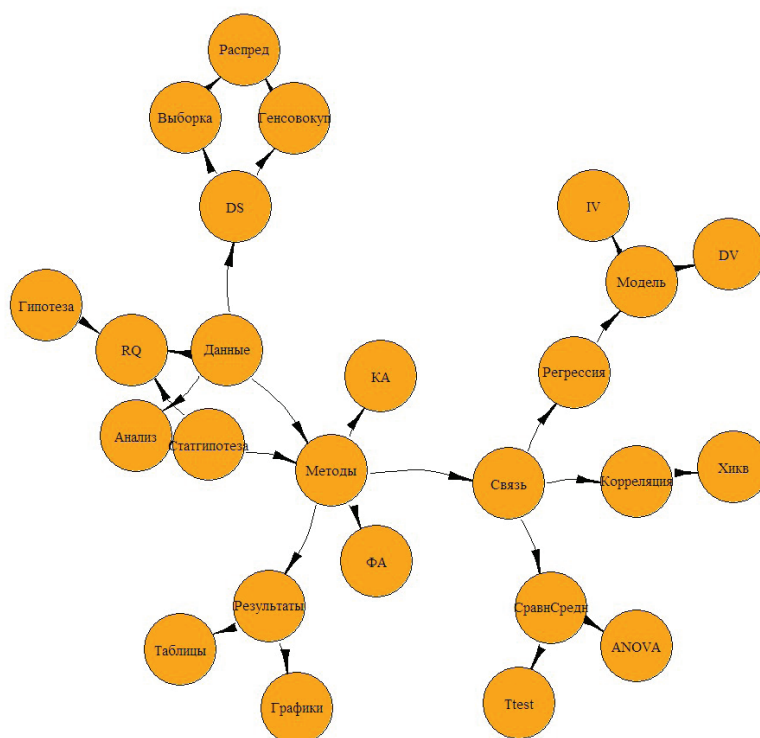
Чтобы распределить понятия на уровни, первым шагом был составлен полный список уникальных понятий, содержащихся в концептуальных картах респондентов.

Для каждого понятия было подобрано формальное определение из «Словаря статистики и методов исследования АРА (американской психологической ассоциации)» [APA dictionary of statistics and research methods, 2014]. Выбор этого словаря был обусловлен экспертизой участников в области социальных наук. Авторами было выдвинуто предположение, что в процессе освоения области анализа данных, его преподавания и прикладного использования они опирались на коннотацию статистических терминов, адаптированную к области социальных наук.

Как отмечалось ранее, на данный момент нет однозначных зафиксированных качественных методов, с помощью которых можно было бы оценить уровень абстракции понятия. Поэтому был использован метод экспертной оценки на основе описания уровней в литературе. В частности, работа опиралась на «классический» подход, который позволяет извлечь общие черты из научного понятия на основе его определения.

Вторым шагом всем понятиям в списке был присвоен высокий, средний и низкий уровень абстракции. Основным принцип категоризации основывался на наличии либо родительских, либо дочерних связей с другими понятиями в рамках формальных определений. Так, понятия, содержащие только дочерние связи, классифицировались как понятия высокого уровня абстракции. Понятия, содержащие как родительские, так и дочерние связи, считались понятиями среднего уровня абстракции. Понятия, содержащие в своих определениях только родительские связи, обозначались как понятия низкого уровня абстракции.

Например, термин «регрессионный анализ» был отнесен к среднему уровню на основании его определения: «любая из статистических мето-



**Рис. 2.** Пример концептуальной карты после перевода в цифровой вид для анализа

дик [подразумевает наличие других дочерних понятий — прим. авт.], которые используются для описания, объяснения или предсказания (или всех трех) дисперсии результата или зависимой переменной с помощью оценок одного или нескольких предикторов. Регрессионный анализ — это разновидность генерализованных линейных моделей [родительское понятие — прим. авт.]» [APA dictionary of statistics and research methods, 2014, с. 301]

Третьим шагом были проанализированы концептуальные карты участников. Следуя внутренней логике карт, эксперты разделили понятия на высоко, средне и низко абстрактные. Поскольку формат концептуальных карт подразумевает под собой наличие различных типов связей между понятиями, учитывались только те связи, которые демонстрировали иерархические отношения между понятиями. Так, в анализ были включены только

те понятия, связи между которыми были описаны фразами «включает», «содержит», «является частью» и «состоит из». Используя иерархию, обозначенную этими фразами, эксперты классифицировали понятия, представленные участниками.

В таблице 1 показано распределение понятий по уровням в зависимости от способа их классификации. Как можно увидеть, при подходе к различению по уровням на основе формальных определений большинство понятий были отнесены к высокому уровню абстракции. При разделении понятий тех же респондентов с опорой на внутреннюю логику концептуальных карт понятия распределились почти равномерно между низко и средне абстрактными, высокий же уровень по итогу включил меньше всего понятий.

В таблице 2 показано совпадение уровня понятий в зависимости от способа классификации. Низкий уровень классифицируется довольно схожим об-

**Таблица 1**

*Количество и процент понятий каждого уровня в зависимости от способа классификации понятий*

	Уровень по определению	Уровень по картам
Низкий	46 (19,0 %)	89 (36,8 %)
Средний	80 (33,1 %)	92 (38,0 %)
Высокий	116 (47,9 %)	61 (25,2 %)

Таблица 2

Процент понятий каждого уровня, классифицированного по картам, в зависимости от уровня, классифицированного по определению

Уровень по картам \ Уровень по определению	Низкий	Средний	Высокий	Всего
Низкий	95,7 %	4,3 %	0 %	100 %
Средний	32,5 %	58,8 %	8,7 %	100 %
Высокий	16,4 %	37,1 %	46,5 %	100 %

разом независимо от подхода, средний уровень в более чем 30 % случаев в картах занимал низкий уровень, а высокий занимал средний почти в 40 % случаев и еще в 16,5 % — низкий.

Полный список понятий, представленный респондентами в их концептуальных картах, частота их встречаемости и присвоенный им уровень абстракции представлены в таблице А Приложения к статье.

### Анализ данных

Для проверки значимости различий между метриками были проверены различия в их показателях в зависимости от уровня понятий — отдельно по определению и по уровню. Для проверки значимости различий был использован критерий ANOVA с post-hoc проверкой множественных сравнений с помощью критерия Тьюки.

Были проверены следующие метрики:

1. Центральность посредничества, вычисленная по следующей формуле:

$$C_B(v) = \sum_{s \neq v \neq t} t \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}},$$

где:

$C_B(v)$  — центральность посредничества вершины  $v$ ;

$\sigma_{st}$  — общее число кратчайших путей между узлами  $s$  и  $t$ ;

$\sigma_{st}(v)$  — число этих путей, проходящих через  $v$ ;

Суммирование идет по всем парам  $s \neq v \neq t$ .

2. Нормированная центральность посредничества. Так как числовой показатель центральности посредничества зависит от количества понятий и разветвленности внутри карты, для сравнения уровней абстракции понятий, собранных из всех

карт, была использована нормализация для приведения показателя к единой шкале. Нормализация заключалась в делении значения центральности каждого понятия на максимально возможное значение такой центральности для каждой карты, что обеспечило приведение значений к шкале от 0 до 1 и их сопоставимость независимо от размера карты и числа понятий:

$$C_B^{norm}(v) = \frac{C_B(v)}{(n-1)(n-2)}$$

3. Количество связей у каждого понятия (центральность степени), вычисленное как сумма исходящих и входящих связей.

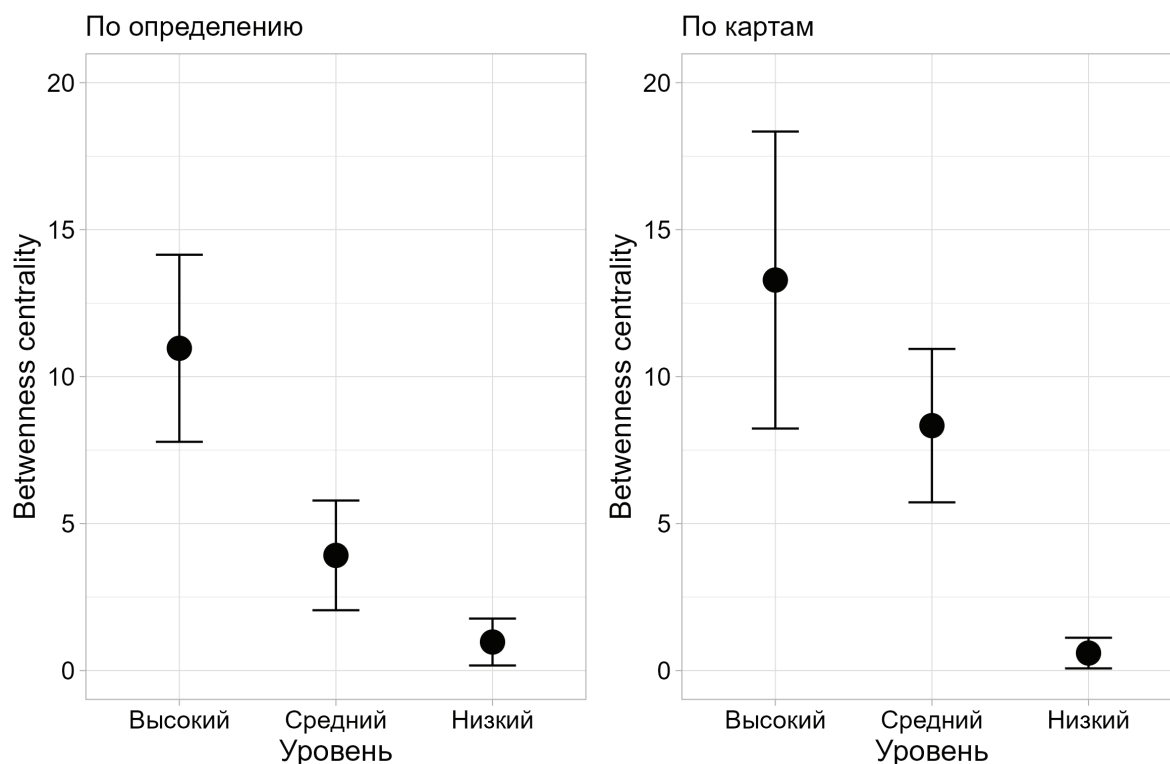
4. Количество исходящих связей каждого понятия.

5. Количество входящих связей каждого понятия.

Все вычисления проводились с использованием программного обеспечения R, пакета `igraph`.

## Результаты

Центральность посредничества значимо отличалась для всех уровней в случае классификации по определению (рис. 3). Понятия высокого уровня имели более высокие показатели центральности посредничества, чем понятия среднего ( $p < 0,01$ ) и низкого ( $p < 0,01$ ) уровней абстракции. Это означает, что наиболее абстрактные понятия чаще выполняют функцию концептуальных «мостов» в понятийной сети — через них происходит переход между различными группами знаний. Они играют связующую роль в структуре понятий, обеспечивая логическую целостность понятийной структуры респондентов. При этом метод множественных сравнений с поправкой Тьюки показал отсутствие значимых различий между понятиями среднего и низкого уровней ( $p = 0,4$ ), хотя эта разница и достаточно велика. Как средне, так и низко абстракт-



**Рис. 3.** Средние и 95 % доверительные интервалы для значений центральности посредничества различного уровня абстракции в зависимости от способа классификации понятий

ные понятия имели существенно более низкие показатели метрики центральности посредничества. При этом для сравнения уровней по картам ситуация иная — все различия между всеми группами значимы на уровне  $p < 0,05$ , что может указывать на то, что классификация по уровням абстракции с учетом логики концептуальных карт более четко отображает различия между уровнями по метрике центральности посредничества.

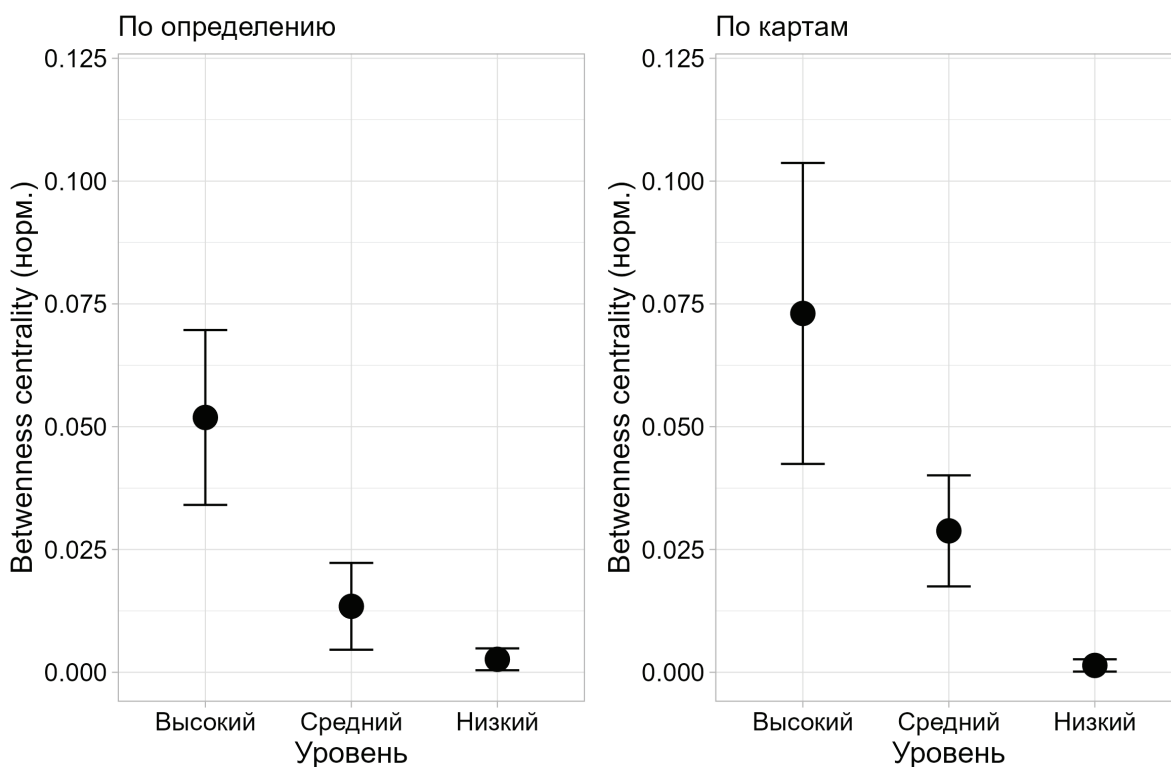
Однако после процедуры нормирования центральности посредничества, которая учитывает «размер» карты и нивелирует влияние количества понятий, различия между уровнями абстракции стали значимыми для всех групп ( $p < 0,05$ ), вне зависимости от того, классифицировались ли понятия по уровням по определению или с опорой на концептуальные карты (рис. 4). Другими словами, для более корректной работы метрик для выявления уровня абстракции понятия при классификации по определению необходима процедура нормализации. Наиболее высокими показателями метрик центральности посредничества также остались у высоко абстрактных понятий, а наиболее низкими — у низко абстрактных понятий.

Стоит отметить, что доверительные интервалы для высоко абстрактных понятий значительно шире по сравнению со средне и низко абстрактными

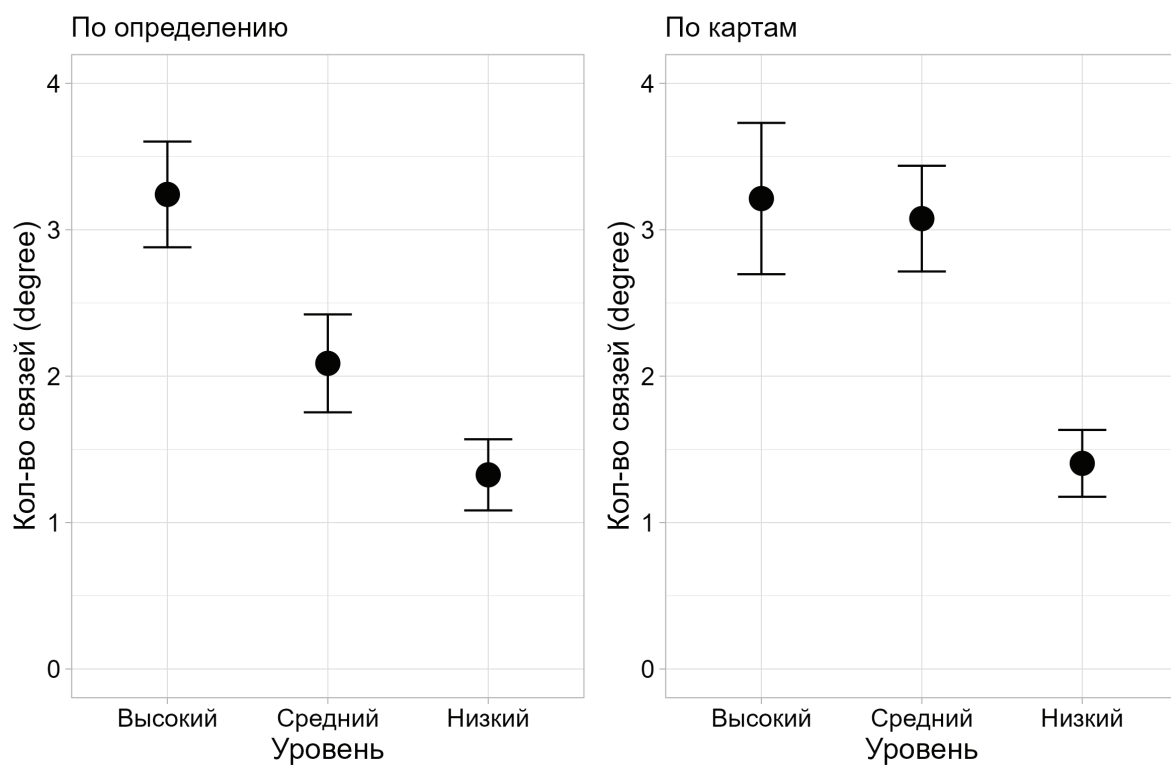
ми в случае центральности посредничества и нормированных его значений. Это указывает на большую вариативность значений центральности для абстрактных понятий, что может свидетельствовать о менее устойчивом их позиционировании в сети и меньшей определенности с точки зрения метрик. Возможное объяснение этого состоит в том, что такие абстрактные понятия используются участниками менее последовательно и обладают более гибкой связующей функцией в сети.

Относительно количества связей у каждого понятия с другими понятиями (центральность степени), результаты отличались в зависимости от способа классификации уровня понятий (рис. 5). В случае классификации по определению все различия между группами были значимы ( $p < 0,05$ ). При этом понятия высокого уровня обладали наиболее высокими показателями метрики, демонстрируя, что наиболее абстрактные понятия обладают наибольшим количеством связей с другими понятиями в понятийной структуре, соединяя другие элементы понятийной карты, и могут выполнять функцию базовых ориентиров в процессе построения и понимания знания.

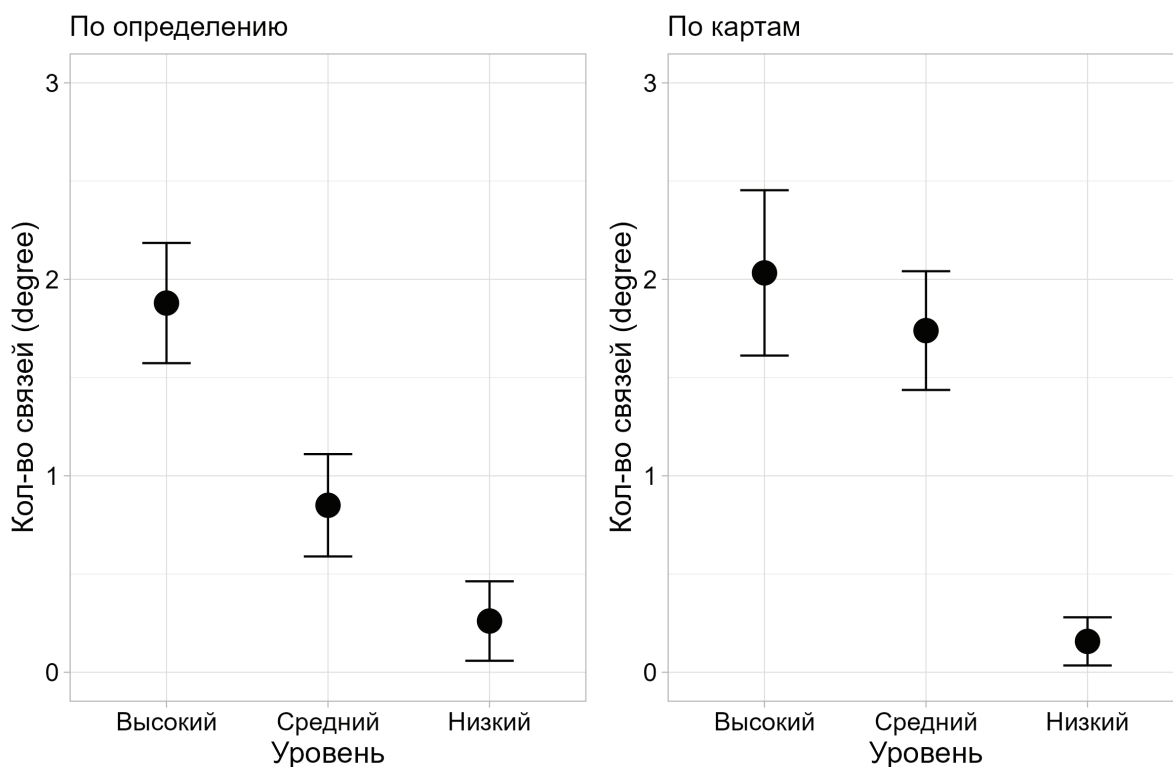
В случае определения уровней абстракций по картам, количество связей у понятий высокого и среднего уровня значимо не отличались ( $p = 0,86$ ).



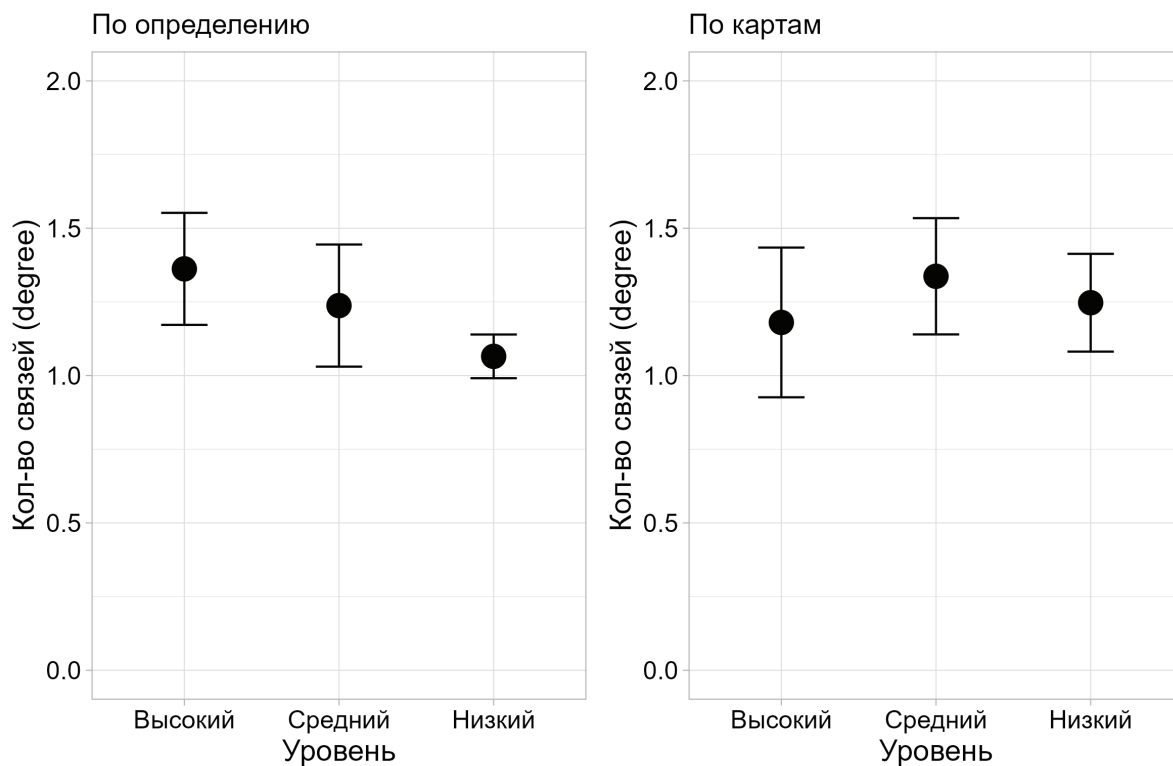
**Рис. 4.** Средние и 95 % доверительные интервалы для нормализованных значений центральности посредничества различного уровня абстракции в зависимости от способа классификации понятий



**Рис. 5.** Средние и 95 % доверительные интервалы для количества связей у понятия (центральность степени) различного уровня абстракции в зависимости от способа классификации понятий



**Рис. 6.** Средние и 95 % доверительные интервалы для количества исходящих связей у понятия различного уровня абстракции в зависимости от способа классификации понятий



**Рис. 7.** Средние и 95 % доверительные интервалы для количества входящих связей у понятия различного уровня абстракции в зависимости от способа классификации понятий

Однако понятия низкого уровня абстракции явным образом отличались от обеих этих групп ( $p < 0,01$ ), имея наименьшее количество связей с другими понятиями.

Интересно, что количество связей у понятий разного уровня различались за счет исходящих (рис. 6), а не входящих (рис. 7) связей. При этом ожидалось, что оба типа будут различаться, ведь понятия низкого уровня будут иметь в основном входящие связи, а понятия высокого — в основном исходящие. В то же время важно отметить, что наиболее четкое различие по количеству исходящих связей наблюдалось при классификации по определению: различия между всеми группами были значимы ( $p < 0,01$ ).

## Обсуждение результатов

Настоящее исследование посвящено изучению возможностей применения метрик центральности сетевого анализа для определения уровней абстракции понятий. Согласно Л.С. Выготскому [1934], понятия формируются в системе взаимосвязей, что подчеркивает значимость холистического подхода к их изучению. Концептуальные карты, представляющие понятийную структуру в виде сети, позволяют исследовать эту систему, особенно с применением методов сетевого анализа. Оценка концептуальных карт помогает выявлять такие структурные характеристики понятийной структуры, как связанность и иерархичность. Однако для глубокой интерпретации важно учитывать и содержание понятий, являющихся основной понятийной структуры. Одной из ключевых содержательных характеристик понятия является уровень его абстрактности, для которого пока не разработан единый объективный метод оценки. В качестве такого метода в работе предложено использовать метод сетевого анализа.

Наше предположение о возможности использования таких метрик сетевого анализа, как центральность посредничества и центральность степени, исходило из идеи о том, что в понятийной структуре есть какие-то ключевые понятия, которые являются важными звеньями в процессе формирования связанной понятийной структуры в области определенного научного знания. Эта идея основана, с одной стороны, на положениях теории Э. Роша о наличии базовых понятий, которые являются наиболее «полезными» для усвоения и использования информации об окружающем мире [Rosch et al., 1976]. С другой стороны, это предположение также опиралось на работы В.В. Давыдова,

описывающие исходные понятия, формирование которых необходимо для понимания предметной области [Давыдов, 1972]. В частности, метрика центральности посредничества позволяет выявлять узлы, которые оказываются связующими звеньями на кратчайших путях между другими элементами сети, что в понятийной структуре может указывать на понятия, объединяющие разные области знания в единую систему. Центральность степени отражает «популярность» узла, измеряя количество его прямых связей с другими узлами, что может указывать на ключевые понятия, соединяющие множество других и формирующие основу структуры понятийной карты.

Основной целью настоящего исследования было проверить различительную способность метрик сетевого анализа на уровнях абстракции понятий: способны ли эти метрики дифференцировать понятия, отнесенные к разному уровню абстракции (гипотеза 1). Это предположение частично подтвердилось. В частности, метрика нормализованной центральности посредничества продемонстрировала статистически значимую разницу в показателях для разных уровней абстракции, независимо от того, были ли эти уровни классифицированы в соответствии с формальным определением или с опорой на логику концептуальной карты. Метрика центральности степени продемонстрировала более ограниченное применение: результаты анализа зависели от того, на каком основании изначально были классифицированы понятия. Для понятий, классифицированных на основе определений, эта метрика показала значимые различия между всеми группами, но при оценке тех же понятий, классифицированных по логике концептуальной карты, достоверно отличался только низкий уровень. Эти результаты опровергают гипотезу 4, где было выдвинуто предположение о том, что метрики центральности будут лучше дифференцировать уровни, которые были выявлены на основе данных концептуальных карт. Как видно, после нормализации метрика центральности посредничества показала себя одинаково вне зависимости от способа классификации, а метрика центральности степени, напротив, повела себя хуже с точки зрения дифференциации при способе классификации понятий с опорой на концептуальные карты.

Содержательно этот результат можно интерпретировать как аргумент в пользу того, что понятия разного уровня абстракции действительно играют разную роль в понятийной структуре: в зависимости от уровня абстракции они могут являться бо-

лее или менее опорными для понятийной структуры. Таким образом, с учетом этого результата есть основания полагать, что метрики важности узла действительно могут давать нам более содержательную информацию об отдельных понятиях в структуре.

На основе анализа теории и содержания метрик сетевого анализа также были выдвинуты гипотезы о том, что эти метрики будут значимо выше у понятий, отнесенных к среднему уровню абстракции (гипотезы 2 и 3). Предполагалось, что, будучи «срединными» в иерархии уровней, средне абстрактные понятия будут являться основными концептуальными мостами между разными содержательными частями карты (центральность посредничества) и иметь больше входящих (от более абстрактных понятий высокого уровня) и исходящих (к более конкретным понятиям низкого уровня) связей. Эти гипотезы основывались на основном теоретическом предположении, что в процессе естественного развития именно средне абстрактные понятия являются наиболее часто используемыми [Rosch et al., 1976] и в целом обычно усваиваются первыми [Выготский, 1934; Rosch, 1978]. Ожидалось, что аналогичная ситуация будет наблюдаться и в случае с научными понятиями: несмотря на то, что научные понятия по природе своей более абстрактные и по предположению Л.С. Выготского формируются «сверху-вниз», предполагалось, что в уже сформированной понятийной структуре о какой-то предметной области самые абстрактные понятия будут играть скорее «обрамляющую роль», задавая тему карт, а средне абстрактные понятия будут «функциональными» элементами в них. Однако гипотеза 2 и гипотеза 3 не подтвердились. Показатели и центральности степени, и центральности посредничества оказались самыми высокими у понятий высокого уровня. Примерами таких понятий из концептуальных карт респондентов являются: «теория», «практика», «данные», «методы», «статистика», «концепция».

Опровержение гипотезы о наибольшей роли понятий среднего уровня подтверждают положения КИТ о том, что научные понятия отличаются от житейских не только с точки зрения «направления» формирования, но и функциональную роль в понятийной структуре. Есть основание предполагать, что, в отличие от житейских понятий, среди которых наиболее функциональными являются понятия «средней» степени обобщенности, в понятийной структуре, отражающей представление о научной области, основную роль играют именно

наиболее абстрактные понятия, которые не только задают структуру, но и являются основными связывающими ее элементами. Тем не менее, это предположение требует дальнейшей эмпирической проверки. В частности, исследования самого процесса построения концептуальной карты, логики не только готового продукта, но и хода его создания.

Стоит отметить ряд ограничений проведенного анализа, которые необходимо учитывать при планировании дальнейших исследований. Во-первых, хотя объем понятий в выборке был значительным, количество участников исследования оказалось ограниченным, что снижает обобщаемость полученных результатов. Во-вторых, классификация понятий выполнялась экспертным путем, поскольку исследование стало первой попыткой применения выбранных подходов. Это создает риск того, что результаты могут быть сложны для воспроизведения в других условиях. Наконец, объектом исследования стала специфичная область знаний — статистический анализ данных в социальных науках. Это может ограничивать переносимость выводов на другие научные дисциплины, где структура понятий может отличаться.

Несмотря на отмеченные ограничения, проведенная работа является важным шагом к освоению новых подходов в исследовании понятийной структуры, демонстрируя потенциал междисциплинарного подхода и сетевого анализа.

## Заключение

В ходе настоящего исследования было выявлено, что метрика нормализованной центральности посредничества различает уровни абстракции понятий вне зависимости от способа классификации, тогда как центральность степени показала различия только при классификации по определению и не дифференцировала средний и высокий уровни при классификации по картам. Наиболее абстрактные понятия обладают наибольшей центральностью посредничества и степени, играя ключевую роль в связывании элементов понятийной структуры. Это подчеркивает их значимость как концептуальных «мостов» и ориентиров, обеспечивающих логическую целостность знаний, особенно в контексте классификации по уровням абстракции.

Таким образом, были показаны перспективы применения сетевого анализа как инструмента оценки такой содержательной характеристики понятия,

как уровень его абстракции, через оценку места понятия в понятийной структуре.

Развитие этого нового направления исследований в области понятий и понятийной структуры может вестись в нескольких направлениях. Во-первых, необходимо дальнейшее изучение применимости метрик сетевого анализа как инструмента оценки понятий внутри понятийной структуры. В частности, перспективным представляется применение метода на выборках из других областей знания, использование различных метрик центральности и проверка валидности подхода. Во-вторых, дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение взаимосвязи положения понятий в структуре, определенного с помощью метрик сетевого анализа, с качеством усвоенных знаний, способностью к решению задач и академической успеваемостью. Это направление может прояснить взаимосвязь между качеством понятийной структуры и ключевыми аспектами обучения.

## Литература

Выготский Л.С. Мышление и речь. — Москва: Государственное социально-экономическое издательство, 1934. — 326 с.

Давыдов В.В. Виды обобщения в обучении. — Москва: Педагогика, 1972. — 262 с.

Исаев Е.И., Марголис А.А., Сафронова М.А. Методика развития исходных математических и естественно-научных представлений обучающихся до научных понятий в начальной школе. Психологическая наука и образование, 2021, Т. 26, No. 6, 25–45. DOI: 10.17759/pse.2021260602

Рубцов В.В., Марголис А.А., Гуружапов В.А. О деятельностином содержании психолого-педагогической подготовки современного учителя для новой школы. Культурно-историческая психология, 2010, Т. 6, No. 4, 62–68.

Талызина Н.Ф., Володарская И.А., Буткин Г.А. Усвоение научных понятий в школе: учебное пособие для вузов. 2-е изд. — Москва: Юрайт, 2024. — 87 с.

Тюменева Ю.А., Капуза А.В., Вергелес К.П. Различительная способность концептуальных карт для оценки уровня компетенции. Пилотное исследование. Вопросы образования, 2017, Т. 4, 150–170. DOI: 10.17323/1814-9545-2017-4-150-170

Холодная М.А. Психология понятийного мышления: От концептуальных структур к понятийным способностям. — Москва: Институт психологии РАН, 2012. — 288 с. DOI: 10.1037/0033-2909.111.2.291

Цукерман Г.А. и др. Введение исходных понятий: в поисках недостающих опор. Культурно-историческая психология, 2017, Т. 13, No. 4, 4–14. DOI: 10.17759/

chp.2017130401

Цукерман Г.А., Обухова О.Л. Обучение, которое ведет за собой развитие субъектности. Вестник Московского университета, 2024, Т. 47, No. 4, 129–149. DOI: 10.11621/LPJ-24-43

APA dictionary of statistics and research methods. Ed. by S. Zedeck. — Washington: American Psychological Association, 2014.

Cortner J.E., Gluck M.A. Explaining basic categories: Feature predictability and information. Psychological Bulletin, 1992, Vol. 111, No. 2, 291–303. DOI: 10.1037/0033-2909.111.2.291

Estrada E. The structure of complex networks: theory and applications. — Oxford: Oxford University Press, 2016. First published in paperback. — 465 p.

Goldstone R.L., Kersten A., Carvalho P.F. Categorization and Concepts. Stevens' Handbook of Experimental Psychology and Cognitive Neuroscience. Ed. by J. T. Wixted. — Wiley, 2018. — Vol. 1, 1–43.

Kapuz A. How Concept Maps with and without a List of Concepts Differ: The Case of Statistics. Education Sciences, 2020, Vol. 10, No. 4, 91. DOI: 10.3390/educsci10040091

Kapuz A., Koponen I.T., Tyumeneva Y. The network approach to assess the structure of knowledge: Storage, distribution and retrieval as three measures in analysing concept maps. British Journal of Educational Technology, 2020, Vol. 51, No. 6, 2574–2591. DOI: 10.1111/bjet.13003

Medin D.L. Concepts and conceptual structure. American Psychologist, 1989, Vol. 44, No. 12, 1469–1481. DOI: 10.1037/0003-066X.44.12.1469

Murphy G.L., Lassaline M.E. Hierarchical Structure in Concepts and the Basic Level of Categorization. Knowledge, concepts, and categories: Studies in cognition. Ed. by K. Lamberts. — Cambridge, Mass.: MIT Press, 1997. — Vol. 1. — MIT Press ed.

Newman M. Networks. — Oxford University Press, 2018.

Novak J.D. Concept mapping: A useful tool for science education. Journal of Research in Science Teaching, 1990, Vol. 27, No. 10, 937–949. DOI: 10.1002/tea.3660271003

Rosch E. et al. Basic objects in natural categories // Cognitive Psychology. 1976. Vol. 8. No. 3. P. 382–439. DOI: 10.1016/0010-0285(76)90013-X.

Rosch E. Principles of Categorization. Cognition and categorization. Ed. by E. Rosch, B.B. Lloyd. — Lawrence Erlbaum Associates, 1978.

Smith E.E., Medin D.L. Categories and Concepts. — Harvard University Press, 1981.

## Приложение

**Таблица А**

Список понятий, встречающихся в концептуальных картах респондентов, с указанием уровня абстракции и частоты встречаемости ( $n = 14$ )

Понятие	Уровень абстракции	Частота
Регрессия	средний	9
Факторный анализ	средний	9
Корреляция	средний	9
Методы	высокий	7
Результаты	высокий	7
Гипотезы	высокий	7
Дисперсионный анализ (ANOVA)	средний	7
t-критерий	средний	7
Распределение	средний	6
Данные	высокий	6
Исследовательский вопрос	средний	6
Выборка	средний	6
Шкала	высокий	6
Анализ	высокий	5
Таблицы	высокий	5
Графики	высокий	5
Генеральная совокупность	высокий	5
Теория	высокий	4
Критерий хи-квадрат	средний	4
Стандартное отклонение	низкий	4
Зависимая переменная	средний	4
Среднее	низкий	4
Кластерный анализ	высокий	4
Переменные	высокий	3
Независимая переменная	средний	3
Практика	высокий	3
Различие средних	высокий	3
Описательная статистика	высокий	3
Интервальная шкала	низкий	2
Порядковая шкала	низкий	2
Дисперсия	средний	2
Статистика вывода	высокий	2
Шкала отношений	низкий	2
Интерпретация	высокий	2
Проверка	высокий	2
Мера центральной тенденции	средний	2
Номинальная шкала	низкий	2
Модель	высокий	2
Статистическая гипотеза	средний	2
Статистика	высокий	2
Программное обеспечение	высокий	2
Связь	высокий	2
Модели	высокий	2
Отношение	высокий	2
Анализ данных	высокий	2
Логистическая регрессия	низкий	2
Множественная регрессия	низкий	2

Науки о данных	высокий	1
SPSS	низкий	1
Парная корреляция	низкий	1
Наблюдаемые данные	средний	1
Значимые результаты	низкий	1
Сравнение средних	высокий	1
Gmetric	низкий	1
Iteman	низкий	1
mClass	низкий	1
Диаграммы	низкий	1
Незначимые результаты	низкий	1
Объяснение	высокий	1
Линейная регрессия	низкий	1
Парная регрессия	низкий	1
Исследование	высокий	1
Наука	высокий	1
Коэффициент корреляции Спирмена	низкий	1
Выводы	высокий	1
Коэффициент корреляции Пирсона	низкий	1
Научная область	высокий	1
«Слова в векторы» (Word2Vec)	низкий	1
p-value	низкий	1
Переменная 3	высокий	1
Переменная 2	высокий	1
Переменная 1	высокий	1
Воздействие	высокий	1
Ковариаты	средний	1
Вычисления	высокий	1
Статистическая мощность	низкий	1
Размышление	высокий	1
Конфирматорный факторный анализ (CFA)	низкий	1
Измерение	высокий	1
Социальные науки	высокий	1
Запрос	высокий	1
Концепция	высокий	1
Текстовый анализ	высокий	1
Эксплораторный факторный анализ (EFA)	низкий	1
Мода	низкий	1
Термины	высокий	1
Медиана	низкий	1
Многомерный дисперсионный анализ (MANOVA)	низкий	1
Метод k-средних (K-means)	низкий	1
Иерархическая кластеризация	низкий	1
Dos2Vec (D2V)	низкий	1
Контент-анализ	средний	1
Дисперсионный анализ	средний	1
Результат/вывод	высокий	1
Проверка гипотез	высокий	1
Формула	высокий	1
Метод	высокий	1
Структурное моделирование (SEM)	средний	1
Мультиномиальная регрессия	низкий	1
Мультимодальная регрессия	низкий	1
<b>Всего понятий:</b>	<b>242</b>	

Поступила в редакцию: 12 февраля 2025 г.

Дата публикации: 31 августа 2025 г.

### **Сведения об авторах**

*Андропова Екатерина Юрьевна*, стажер-исследователь Международной лаборатории проектирования и исследований в онлайн-обучении, Институт образования, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), ул. Мясницкая, 20, 101000, Москва, Россия.

*Email:* [eandronova@hse.ru](mailto:eandronova@hse.ru)

*Капуза Анастасия Васильевна*, кандидат наук об образовании, заведующий Международной лабораторией проектирования и исследований в онлайн-обучении, Институт образования, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), ул. Мясницкая, 20, 101000, Москва, Россия.

*Email:* [akapuz@hse.ru](mailto:akapuz@hse.ru)

### **Ссылка для цитирования**

Андропова Е.Ю., Капуза А.В. Метрики центральности сетевого анализа как инструмент определения уровня абстракции понятий внутри понятийной структуры обучающихся. Психологические исследования. 2025. Т. 18, № 102. С. 3.

URL: <https://psystudy.ru>

Адрес статьи:

<https://doi.org/10.54359/48gtcd95>



# Centrality metrics in network analysis as a tool for determining the level of abstraction of concepts within students' conceptual structures

**Andronova E.Yu.<sup>1</sup>, Kapuza A.V.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> HSE University, Moscow, Russia

This study examines concepts as systemic elements within a conceptual structure, drawing on the theoretical framework of L.S. Vygotsky's cultural-historical psychology. A key characteristic of concepts is their level of abstraction, which reflects their degree of generalization within a system. However, existing classification methods lack a unified approach, complicating empirical research. The current study aimed to explore network analysis metrics as a tool for distinguishing concepts of different levels within a concept structure. We analysed 242 concepts from conceptual maps created by experts and students in data analysis. First, a qualitative analysis was conducted using formal definitions and expert evaluations. Then, betweenness centrality and degree centrality metrics were applied to assess their effectiveness in distinguishing conceptual levels. The findings showed that betweenness centrality and normalized betweenness centrality significantly differed across levels: higher-level concepts had higher values compared to the basic and subordinate ones. Degree centrality varied depending on the classification method. When classified by definition, all group differences were shown to be significant. When classified by maps, differences were found only for the subordinate level. However, the number of incoming connections did not show distinguishing capability. Based on the results, it can be assumed that network analysis demonstrates potential not only in assessing the systemic characteristics of a conceptual structure but also in evaluating the role of individual concepts within it.

**Keywords:** conceptstructure, levelsofabstraction, concept maps, network analysis, cultural-historical theory

## References

APA dictionary of statistics and research methods. Ed. by S. Zedeck. — Washington: American Psychological Association, 2014.

Corter J.E., Gluck M.A. Explaining basic categories: Feature predictability and information. *Psychological Bulletin*, 1992, Vol. 111, No. 2, 291–303. DOI: 10.1037/0033-2909.111.2.291

Davydov, V.V. Types of Generalization in Learning. — Moscow: Pedagogika, 1972. (In Russian).

Estrada E. The structure of complex networks: theory and applications. — Oxford: Oxford University Press, 2016. First published in paperback. — 465 p.

Goldstone R.L., Kersten A., Carvalho P.F. Categorization and Concepts. *Stevens' Handbook of Experimental Psychology and Cognitive Neuroscience*. Ed. by J. T. Wixted. — Wiley, 2018. — Vol. 1, 1–43.

Isaev, E.I., Margolis, A.A., & Safronova, M.A. Developing Children's Concepts in Mathematics and Natural Sciences in Elementary School: From Initial Representations to Scientific Concepts. *Psychological Science and Education*, 2021, T. 26, No. 6, 25–45. DOI: 10.17759/pse.2021260602 (In Russian).

Kapuz A. How Concept Maps with and without a List of Concepts Differ: The Case of Statistics. *Education Sciences*, 2020, Vol. 10, No. 4, 91. DOI: 10.3390/educsci10040091

Kapuz A., Koponen I.T., Tyumeneva Y. The network approach to assess the structure of knowledge: Storage, distribution and retrieval as three measures in analysing concept maps. *British Journal of Educational Technology*, 2020, Vol. 51, No. 6, 2574–2591. DOI: 10.1111/bjet.13003

Kholodnaya, M.A. The Psychology of Conceptual Thinking: From Conceptual Structures to Conceptual Abilities. — Moscow: Institut psikhologii RAN, 2012.

Medin D.L. Concepts and conceptual structure. *American Psychologist*, 1989, Vol. 44, No. 12, 1469–1481. DOI: 10.1037/0003-066X.44.12.1469

Murphy G.L., Lassaline M.E. Hierarchical Structure in Concepts and the Basic Level of Categorization. *Knowledge, concepts, and categories: Studies in cognition*. Ed. by K. Lamberts. — Cambridge, Mass.: MIT Press, 1997. — Vol. 1. — MIT Press ed.

Newman M. *Networks*. — Oxford University Press, 2018.

Novak J.D. Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 1990, Vol. 27, No. 10, 937–949. DOI: 10.1002/tea.3660271003

Rosch E. et al. Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, 1976, Vol. 8, No. 3, 382–439. DOI: 10.1016/0010-0285(76)90013-X

Rosch E. Principles of Categorization. *Cognition and categorization*. Ed. by E. Rosch, B. B. Lloyd. — Lawrence Erlbaum Associates, 1978.

Rubtsov V.V., Margolis A.A., & Guruzhapov V.A. On the Activity-Based Content of Psychological and Pedagogical Training of Modern Teachers for the New School. *Cultural-Historical Psychology*, 2010, T. 6, No. 4, 62–68. (In Russian).

Smith E.E., Medin D.L. *Categories and Concepts*. — Harvard University Press, 1981.

Talyzina N.F., Volodarskaya I.A., Butkin G.A. *Mastering Scientific Concepts at School: A Textbook for Universities*. 2nd ed. — Moskva: Yurait, 2024. (In Russian).

Tyumeneva Y., Kapuz A., & Vergeles K. Distinctive Ability of Concept Maps for Assessing Levels of Competence. Pilot study. *Voprosy Obrazovaniya*, 2017, T. 4, 150–170. DOI: 10.17323/1814-9545-2017-4-150-170 (in Russian)

Vygotsky, L.S. *Thinking and Speech*. Moscow: Gosudarstvennoe sotsial'no-ekonomicheskoe izdatel'stvo, 1934. (In Russian).

Zuckerman G.A., Obukhova O.L., Ryabinina L.A., & Shibanova N.A. Introducing Basic Concepts: In Search of the Missing Scaffolds. *Cultural-Historical Psychology*, 2017, T. 13, No. 4, 4–14. DOI: 10.17759/chp.2017130401 (in Russian).

Zuckerman G.A., Obukhova O.L. Education that leads to development of students as subjects of their own learning. *Lomonosov Psychology Journal*, 2024, T. 47, No. 4, 129–149. DOI: 10.11621/LPJ-24-43 (in Russian).

## Information about authors

*Andronova Ekaterina Yurievna*. Research Intern at the International Laboratory of Research and Design in eLearning, Institute of Education, National Research University Higher School of Economics (HSE University), Myasnitskaya St., 20, 101000, Moscow, Russia.  
E-mail: [eandronova@hse.ru](mailto:eandronova@hse.ru)

*Kapuz Anastasia Vasilievna*. PhD in Education, Head of the International Laboratory of Research and Design in eLearning, Institute of Education, National Research University Higher School of Economics (HSE University), Myasnitskaya St., 20, 101000, Moscow, Russia.  
E-mail: [akapuz@hse.ru](mailto:akapuz@hse.ru)

## For citation:

Andronova E. Yu., Kapuz A. V. Centrality metrics in network analysis as a tool for determining the level of abstraction of concepts within students' conceptual structures. *Psikhologicheskie Issledovaniya*, 2025, Vol. 18, No. 102, p. 3.  
<https://psystudy.ru>