

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»  
ИНСТИТУТ ОБРАЗОВАНИЯ

На правах рукописи

Капуза Анастасия Васильевна

Валидизация количественного подхода к оценке понятийной структуры с  
помощью сетевого анализа

РЕЗЮМЕ ДИССЕРТАЦИИ

на соискание ученой степени  
кандидата наук об образовании

Научный руководитель:

кандидат психологических наук

Тюменева Юлия Алексеевна

Москва, 2024

## Оглавление

ИНФОРМАЦИЯ О СОИСКАТЕЛЕ И ДИССЕРТАЦИОННОМ ИССЛЕДОВАНИИ.....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	4
АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	6
СТЕПЕНЬ РАЗРАБОТАННОСТИ ПРОБЛЕМЫ.....	7
Концептуальные карты как метод оценки понятийной структуры .....	7
Первый компонент: постановка задачи для построения концептуальной карты.....	8
Второй компонент: форма ответа.....	9
Третий компонент: система оценивания концептуальных карт .....	9
Сетевой анализ как система оценки концептуальных карт .....	11
ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	12
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ВОПРОСЫ.....	12
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ РАМКА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	13
Теории обучения и когнитивного развития, применимые для объяснения развития понятийно структуры .....	13
Сетевой анализ для оценки понятийной структуры.....	15
МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ.....	17
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	21
Исследовательский вопрос 1: какие когнитивные теории используются для интерпретации результатов измерения понятийной структуры с использованием концептуальных карт и сетевого анализа? .....	22
Исследовательский вопрос 2: валидны ли индикаторы из сетевого анализа для определения уровня сложности понятийной структуры с помощью концептуальных карт? .....	23
Исследовательский вопрос 3: как различаются концептуальные карты разного типа (с заданным списком понятий и без такого списка) по индикаторам из сетевого анализа? .....	25
Исследовательский вопрос 4: какие индикаторы для оценки понятийной структуры, основанные на сетевом анализе, могут быть разработаны так, чтобы они отвечали теоретическим представлениям о психологии обучения и когнитивного развития? .....	25
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ .....	27
ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ .....	28
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	28
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	31

## ИНФОРМАЦИЯ О СОИСКАТЕЛЕ И ДИССЕРТАЦИОННОМ ИССЛЕДОВАНИИ

ФИО соискателя	Капуза Анастасия Васильевна
Тема диссертации	Валидизация количественного подхода к оценке понятийной структуры с помощью сетевого анализа
Сведения об организации, в которой выполнялась диссертация	Институт образования, НИУ ВШЭ
Сведения о научном руководителе	Тюменева Юлия Алексеевна, к.пс.н., старший научный сотрудник, Институт образования, НИУ ВШЭ
Список публикаций автора диссертации, в которых отражены основные научные результаты диссертации	<p>Тюменева, Ю. А., <b>Капуза, А. В.</b>, Вергелес, К. П. (2017). Различительная способность концептуальных карт для оценки уровня компетенции. <i>Вопросы образования</i>, (4), 150-170.</p> <p><b>Капуза, А.</b> (2020). How concept maps with and without a list of concepts differ: The case of statistics. <i>Education Sciences</i>, 10(4), 91.</p> <p><b>Капуза, А.</b>, Koronen, I. T., &amp; Tyumeneva, Y. (2020). The network approach to assess the structure of knowledge: Storage, distribution and retrieval as three measures in analysing concept maps. <i>British Journal of Educational Technology</i>, 51(6), 2574-2591.</p> <p><b>Капуза, А. В.</b>, Тюменева, Ю. А. (2023). Придавая смысл: психологические теории для интерпретации концептуальных карт. <i>Мир психологии</i>, (1 (112)), 132-143.</p>
Список научных конференций, на которых были представлены результаты диссертационного исследования	<p><i>1 Конференция молодых ученых Psy-Вышка "Актуальные проблемы психологической науки" (Москва, 2017).</i> Доклад: «Исследование валидности метода концептуальных карт»</p> <p><i>The 10th Annual Embodied and Situated Language Processing Conference (Москва, 2017).</i> Доклад: «Spontaneous retrieving vs. forced concepts in concept maps of novices and experienced students»</p> <p><i>Networks applied in science education research (Хельсинки, 2019 г.).</i> Доклад: «The network approach for assessing knowledge structure changes owing to learning»</p> <p><i>NetSciEd2020 (Онлайн, 2020).</i> Доклад: «How concept maps with and without a list of concepts differ: the case of statistics»</p>

## ВВЕДЕНИЕ

Использование знаний – одна из важнейших концепций в когнитивной психологии. В самом общем виде под знанием, как правило, понимается хранение, интеграция и организация информации в памяти. Представления о том, как знания о какой-то конкретной области организованы у экспертов, являются ключевым аспектом в понимании процесса обучения.

В когнитивной психологии XX века достаточно много внимания уделялось том, как организованы и репрезентируются знания (*knowledge representation, representation of knowledge*). Одной из базовых теорий организации знаний, является теория семантической сети. Коллинс и Квиллиан разработали эту теорию, основываясь на идее о том, что знания могут быть представлены в виде сети, где узлы представляют понятия разного уровня абстракции (например, канарейка; птица; животное), а связи между узлами отражают отношения между понятиями (Collins & Quillian, 1969). При этом в каждом таком узле хранится информация, связанная с этим уровнем (например, канарейка – желтая, птица – имеет крылья, животное – дышит), а каждый последующий узел включает в себя информацию обо всех предыдущих.

Согласно Л. Барсалоу, знания не хранятся в виде абстрактных символов или языковых правил, а скорее представляют собой активные ментальные модели, и, поэтому, знания могут быть активированы и изменены в зависимости от контекста, в котором они используются (Barsalou, 1983). Например, представление о слове «яблоко» может быть разным в контексте кулинарии и в контексте ботаники.

Далее представление о хранении и организации приобретаемых знаний усложнялось, так как необходимо было учитывать процессуальную сторону. Так, в 70-80х гг. стали активно развиваться пропозициональные модели, которые включают в себя узлы, представляющие концепты, и связи между этими узлами, представляющие отношения или связи между концептами, а каждая связь может иметь различные атрибуты, такие как силу связи или направление (Anderson, 1996; Norman & Rumelhart, 1975).

В 90-х гг. появилась также модель, обобщающая и дополняя предыдущие идеи – ALCOVE (attention learning covering map, карта покрытия обучения вниманием) (Kruschke, 1992). ALCOVE – это «коннективистская» модель, которая предполагает, что стимулы представлены как точки в пространстве психологических стимулов, и, таким образом, представляют собой вектор. При этом она подразумевает, что для каждого обучающего стимула имеется ровно один радиально-базисный узел, то есть узел в сети, который представляет собой некий образец. Другими словами, такой узел представляет собой шаблон или «центр» для определенной категории или образца. Когда поступает новый стимул, он сравнивается с этими центрами, и активируется тот узел, центр которого находится наиболее близко к входным данным, используя радиальную функцию для оценки сходства. Таким образом, эта теория применяется для описания обучения на основе категоризации стимулов. Однако сам Д. Крушке (Kruschke, 1992) отмечал, что главным ограничением этой модели является то, что она применима только к ситуациям, для которых стимулы могут быть соответствующим образом представлены в виде точек в многомерном пространстве психологического подобия. В когнитивной же психологии не все области стимулов в полной мере поддаются пространственному представлению.

В целом существенным ограничением использования таких когнитивных теорий для разработки процедур измерения структуры знаний, приобретаемой в процессе образования, является то, что они в большей степени описывают «натуральное», спонтанное приобретение знаний, которое может включать в себя не только понятия, но и различный сенсомоторный опыт. Как следствие, способ представления, репрезентации знаний (как и способы их использования) отличается от того, что требуется в системе формального

образования, особенно – высшего, которое сосредоточено на усвоении студентами весьма абстрактного материала.

В то же время с точки зрения организации обучения и научения более важными представляются работы в области психологии развития и обучения, так как они посвящены «произвольному», «спроектированному» приобретению понятий. Безусловно, основными работами в этой области являются теории Ж. Пиаже и Л.С. Выготского. Различаясь в объяснении причин и следствий развития и обучения, они сходились в описании основных механизмов развития понятийной структуры у детей. Под понятиями Выготский понимал слова и значения, которые за ними стоят (Выготский, 1999). При этом Выготский делал особый акцент на развитие именно научных понятий в процессе обучения, противопоставляя их спонтанным, житейским понятиям, о которых в большей степени говорили исследователи из области когнитивной психологии. Он писал: «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, 1999, с. 208). Настоящая работа посвящена изучению как раз такой понятийной структуры, возникающей в процессе обучения, то есть соотношению представлений обучающегося об объектах или явлениях, представляющих содержание изучаемой области знаний.

Важно отметить, что, как отмечал Э.В. Ильенков, «...очень часто мы путаем развитие способности мыслить и процесс усвоения знаний, предусмотренных программами. А эти два процесса отнюдь не совпадают автоматически, хотя один без другого и невозможен» (Ильенков, 1964). В то же время работы таких выдающихся советских и российских ученых, как В.В. Давыдов (напр. Давыдов, Зинченко, 1998), П.Я. Гальперин (напр. Гальперин, 2010), Н.Ф. Талызина (напр. Талызина и др., 2019) и других были в большей мере направлены на изучение того, как выстроить школьную программу, в наибольшей степени отвечающую естественному развитию у ребенка способности мыслить и решать учебные задачи и проблемы. Как отмечают отечественные авторы, в настоящее время область исследований понятийной структуры, формирующихся даже в ходе усвоения школьной программы, крайне мало развита (Исаев и др., 2021). Эта область исследования представляет собой отдельное большое направление, в настоящей же работе мы сосредоточимся на **рассмотрении возможности и способа измерения результата усвоения понятий в некоторой области** для того, чтобы предоставить исследователям наиболее эффективных способов усвоения знаний инструментарий для принятия доказательных решений.

В середине XX века в рамках такого направления в образовании, как конструктивизм, начали разрабатываться методы оценки понятийной структуры. Традиционные методы оценки, такие как стандартизированные тесты, неспособны отразить структуру, взаимоотношение концептов, и оценить изменения в понятийной структуре, поэтому Дж. Новак с коллегами с помощью клинических интервью разработали метод, основанный на графической репрезентации такой структуры — концептуальные карты (*conceptual mapping*) (Novak & Musonda, 1991). Концептуальные карты отличаются от других инструментов оценки тем, что позволяют увидеть взаимосвязи между всеми понятиями и исходит непосредственно от респондента.

Концептуальные карты прошли долгий путь развития как инструмент, доступный для оценивания формирования понятийной структуры в процессе обучения (Ruiz-Primo & Shavelson, 1996; Strautmane, 2012; Watson и др., 2016). Однако методы анализа построенных концептуальных карт все еще являются предметом исследований, сравнений и проверки.

Исследователи и практики, использующие концептуальные карты для оценки понятийной структуры, сталкиваются с двумя большими сложностями. Во-первых, отсутствуют объективные унифицированные индикаторы, говорящие о степени сформированности или развитости такой структуры, то есть ее изменения с увеличением экспертности обучающегося в выбранной области знаний. Часто единственным

индикатором развитости понятийной структуры является количество использованных понятий и связей между ними. Однако слабо разработано обоснование того, какие именно индикаторы и почему должны характеризовать развитость понятийной структуры, и как следует интерпретировать те или иные значения этого индикатора. Например, должна ли развитая понятийная структура быть максимально широкой и включать в себя множество понятий на разных уровнях абстракции, или же она должна включать достаточно абстрактные, но сильно связанные между собой ключевые понятия в области?

Во-вторых, слабой стороной использования концептуальных карт является их индивидуализированное использование. Подавляющее большинство выводов, касающихся изменений в понятийной структуре, представляют собой индивидуальную экспертную обратную связь по каждому наблюдению (напр., Congan и др., 2017; Cook, 2017). Конечно, оценка индивидуального прогресса и выявление неправильных представлений отдельных учащихся являются неопределимым преимуществом формирующего оценивания в целом и оценки изменения понятийной структуры в частности. Тем не менее, такой подход не позволяет исследователям сосредоточиться на универсальных характеристиках концептуальных карт, которые могут быть применены для оценки прогресса обучения и мониторинга развития понятийной структуры в целом. В частности, для этого необходимо иметь такие формальные (объективные, исчисляемые) индикаторы, которые бы позволили различать уровни компетентности в различных областях и не требовали при этом интерпретации экспертов.

Таким образом, **проблема** настоящего исследования заключается в назревшей необходимости унифицировать и валидировать способ оценки понятийной структуры, формирующейся в процессе обучения, с помощью концептуальных карт.

## **АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Существующая литература об использовании концептуальных карт для оценки понятийной структуры подчеркивает как полезность этого инструмента, так и ограниченность его применения. Прежде всего стоит отметить несистематизированное разнообразие методов интерпретации результатов построенных обучающимися концептуальных карт. Так, в целом можно выделить два подхода в интерпретации результатов: качественный и количественный. Ограничения качественного подхода понятны: показатели, такие, как точность (Ruiz-Primo и др., 2001), качество структуры (Novak & Gowin, 1999) и так далее, в значительной степени варьируют от эксперта к эксперту (обычно, учителей и преподавателей) (Watson и др., 2016). Кроме того, обычно такие критерии применяются в отношении к конкретному предмету или даже к конкретной теме, что значительно снижает обобщаемость и сопоставимость результатов из различных предметных областей.

Количественный же подход представляется более релевантным для анализа больших массивов данных, а также для сравнительного анализа карт. С его помощью можно проследить, например, развитие понятийной структуры, то есть ее изменения с увеличением экспертности обучающегося в выбранной области знаний. Однако и он имеет ограничения, прежде всего, слабую обоснованность использования тех или иных индикаторов и отсутствие явного понимания того, как следует интерпретировать полученные результаты.

Более важно, чем просто бессистемность и разрозненность используемых методов, является отсутствие теоретического основания для выбора или разработки критериев, по которым анализируются карты. Во многом именно дефицит психологических теорий о направлении развития понятийной структуры в ходе обучения и стал причиной отмеченной методической раздробленности. Даже говоря об объективных критериях, таких как количество понятий и связей между ними, нужно понимать, что означает та или иная

характеристика карты (напр., рост количества используемых учащимся понятий) для обучения и когнитивного развития в целом. В частности, иногда авторы считают, что чем больше понятий использовано обучающимся в концептуальной карте, тем более развита и понятийная структура. Однако это утверждение не вполне очевидно: например, человек может назвать много понятий, которые он слышал из области компьютерных наук, но не иметь представления о том, как они соотносятся. Можно ли считать это хорошим пониманием предметной области?

Анализ литературы показывает, что в отсутствие психологических теорий исследователи все чаще прибегают к теориям, которые изначально не были предназначены для описания психологической действительности, но скорее использовались в области анализа сложных систем. Прежде всего, обращает на себя внимание теория графов и ее более прикладной аспект – сетевой анализ, которые позволяют оценивать отношение понятий друг к другу. Поскольку концептуальная карта также может быть представлена как сеть взаимосвязанных понятий, теория графов, хотя и техническая по природе, помогла продвинуться в анализе концептуальных карт, во многом заложив теорию психологическую.

В целом сетевой анализ обладает широким инструментарием для оценки различных свойств систем со связанными объектами (M. Newman, 2018). Один из главных вызовов, на которые отвечает сетевой анализ – это анализ сложных систем (*complex systems*), то есть систем, поведение которых трудно или невозможно вывести из знаний о поведении отдельных их компонентов (Estrada, 2016; Mata, 2020). Например, к таким системам можно отнести Всемирную паутину (*World Wide Web*) или взаимодействие нейронов в мозге. Среди прочего, важными проблемами для исследования сложных сетей (*complex networks*) являются определение наиболее важных узлов сети и связности сети в целом. И исследователи понятийной структуры действительно в последнее время часто обращаются к этим концепциям (Cicuto & Correia, 2013; I. Koronen & Nousiainen, 2013; McLinden, 2013; Siew, 2018). Но хотя сетевой анализ предлагает универсальный язык, с помощью которого можно рассуждать о свойствах сети, для исследований в области образования необходимо интерпретировать результаты и с точки зрения теорий обучения, когнитивных теорий. На данный же момент наблюдается слабая проработка синтеза аналитического аппарата из сетевого анализа и предпосылок из теорий, описывающих критерии развитой, то есть говорящей о более продвинутой экспертной позиции обучающегося в некоей области знаний, понятийной структуры.

Таким образом, **актуальность** настоящего исследования состоит в том, что на фоне достаточно развитого аналитического инструмента, который подходит для исследования таких сложных структур, как понятийная структура – сетевого анализа – отсутствуют доказательства валидности его использования с точки зрения теорий обучения.

## **СТЕПЕНЬ РАЗРАБОТАННОСТИ ПРОБЛЕМЫ**

Как было обозначено выше, проблемой исследования является не удовлетворенная **потребность в унификации и валидации количественного подхода к оценке понятийной структуры с помощью концептуальных карт**. Большие возможности для этого предоставляет сетевой анализ. Рассмотрим существующие исследования оценки понятийной структуры с помощью концептуальных карт и использования сетевого анализа для этого.

### **Концептуальные карты как метод оценки понятийной структуры**

Концептуальная карта представляет собой графическое изображение соотношения понятий и процессов, относящихся к какой-то предметной области (математике, физике, биологии). Карта состоит из узлов (понятий) и направленных отношений, или связей, соединяющих эти понятия (например, является, относится к, вытекает из и т.д.) (Рисунок

1). Концептуальные карты считаются валидным (Mcclure и др., 1999; Stoddart и др., 2000; Wallace & Mintzes, 1990) и информативным (Lavigne, 2005) методом диагностики понятийной структуры.

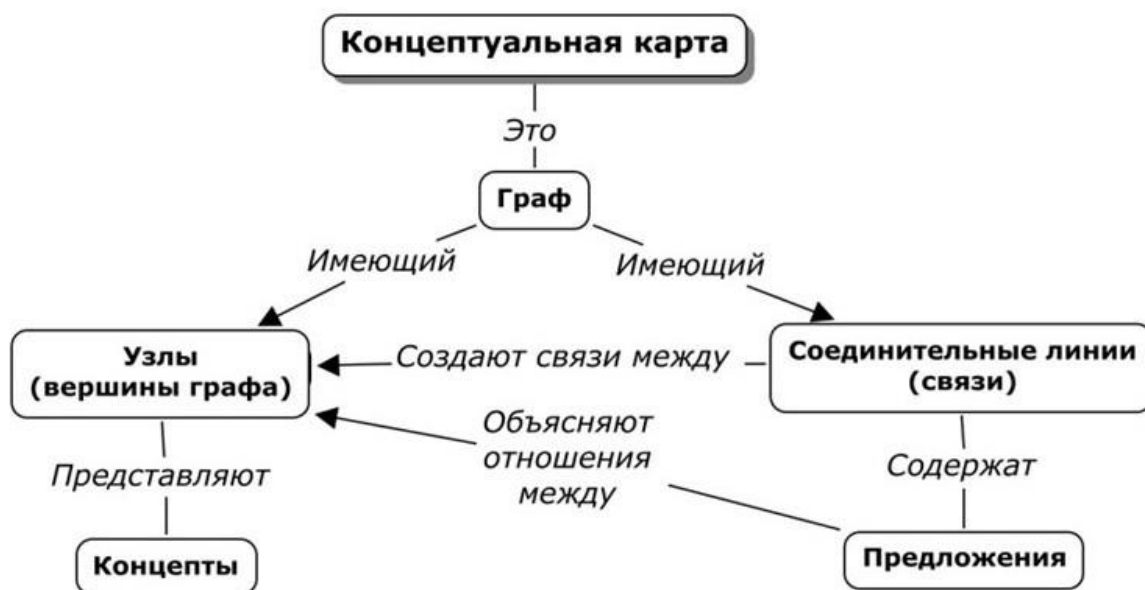


Рисунок 1. Пример концептуальной карты

Процедура работы с концептуальными картами включает три компонента: постановку задачи для получения карты от респондента, формат ответа и систему оценки (Ruiz-Primo, 2004).

**Первый компонент: постановка задачи для построения концептуальной карты**

Первый компонент – постановка задачи для построения карты. Конструирование карты может быть в различной степени свободным, в зависимости от заданных элементов карты – понятий (концептов), структуры или связующих фраз (Ruiz-Primo, 2004). Задание, таким образом, по своему типу может варьироваться от полностью открытого до полностью закрытого (Рисунок 2) (Kinchin, 2014). Полностью открытое содержит только область знаний, относительно которой надо нарисовать карту. Показано, что этот тип задания может предоставить наибольшую информацию о том, как учащийся понимает область (Yin и др., 2005), хотя и требуют большего знания содержания (Ruiz-Primo и др., 2001). Полностью закрытое задание предполагает заполнение карты с заданной структурой и заданным списком понятий. Кроме того, варьироваться может и объем задаваемой информации – количество понятий или связей. Такие закрытые, направленные задания полезны для активизации знаний учащихся (Gouli и др., 2003).



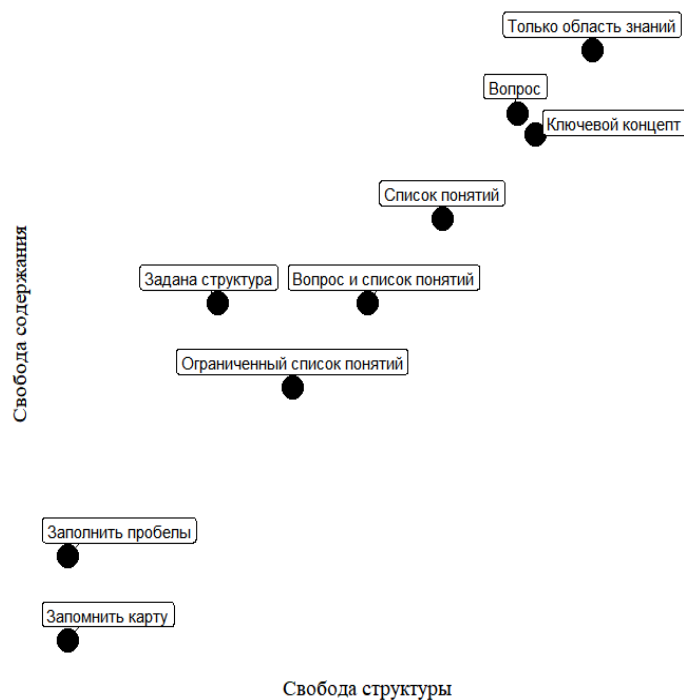


Рисунок 2 – степень свободы в зависимости от заданных в задании на построение карты элементов (Kinchin, 2014)

### Второй компонент: форма ответа

Что касается второго компонента, учащийся может составлять карту как в бумажном варианте, рисуя от руки, так и с помощью компьютерных программ или онлайн сервисов. Выбор специализированных программ и сервисов для построения концептуальных карт достаточно большой (Smart, FreeMind, Xmind и т.д.), также можно использовать различные сервисы для графической организации информации (например, Miro). Отдельных исследований различий этих форм не проводилось. Кроме того, возможно извлечение концептуальных карт из текстов – например, из интервью или эссе.

### Третий компонент: система оценивания концептуальных карт

Система оценивания, собственно, позволяет определить степень развитости понятийной структуры, поэтому является ключевым элементом в исследованиях. Как было указано выше, можно выделить два подхода к обработке и интерпретации результатов построения концептуальных карт – качественный и количественный. Далее рассмотрим специфику использования каждого из них.

В рамках качественного подхода выносятся некоторые экспертные суждения обо всей карте сразу или об отдельных ее элементах. Например, в ряде исследований используется так называемая целостная, или холистическая оценка. Выделяется несколько базовых типов структуры карт: «спицы» («*spoke*»), «цепь» («*chain*») и «сеть» («*net*»), при этом считается, что первый тип отражает менее развитую понятийную структуру, чем последний (Kinchin и др., 2000). Однако могут возникать сложности с соотношением каждой карты с определенным «чистым» типом.

Для того, чтобы сделать качественную оценку более глубокой, многие авторы разрабатывали системы, основанные на экспертных оценках отдельных элементов карт. Например, Стоддарт и др. использовали три критерия для анализа связей между понятиями для оценки качества карты: точность (*accuracy*), глубина объяснений (*depth of explanation*) и сложность (*complexity*) (Stoddart и др., 2000). Каждый критерий оценивался экспертами по

рубрикам, например, по критерию аккуратность каждая обозначенная учеником связь между понятиями соотносилась с одной из четырех рубрик: научно точная («давление повышается на глубине океана»), общие знания («киты живут в океане»), ошибочная («акулы являются млекопитающими») и эмоциональная («дельфины красивые»). Однако и такие сложные системы подвержены субъективности: в приведенном исследовании Стоддарта и др. согласованность экспертов была приемлемой, хотя и не высокой (Каппа Коэна составила от 0,45 до 0,63 по разным критериям) (Stoddart и др., 2000).

Некоторые авторы агрегировали качественные характеристики в количественную оценку для того, чтобы сделать возможным сравнение разных карт. Разработчики метода концептуальных карт Новак и Говин предлагали использовать протокол назначения баллов по четырем критериям: связи между концептами (*propositions*), иерархия (*hierarchy*), соединения между уровнями (*crosslinks*) и примеры (*examples*) (Novak & Gowin, 1999). Например, по критерию соединений между уровнями эксперты назначали 10 баллов за каждое валидное и осмысленное соединение, и 2 балла – за достоверное, но не иллюстративное. Так как баллы назначались в ходе экспертной оценки, эту методологию также можно отнести к качественной.

Количественная оценка, основанная на подсчете тех или иных элементов или характеристик карт, часто критиковалась за недостаточную информативность и глубину. Тем не менее, этот подход часто используется, так как основан на объективных показателях и позволяет сравнивать разные карты. Так, часто подсчитывается количество использованных понятий и связей, количество уровней иерархии и т.д. (напр., Novak, 1990; Wallace & Mintzes, 1990; Ruiz-Primo и др., 2001; Richmond и др., 2014). При этом интерпретация обычно происходит постфактум, предварительных гипотез о том, как должна выглядеть концептуальная карта, соответствующая более развитой понятийной структуре, нет. Другими словами, ранее в исследованиях не было достаточно твердых теоретических обоснований того, что ожидать от более развитой понятийной структуры.

В своем обзоре Ян Кинчин, автор множества исследований возможностей использования концептуальных карт для оценки понятийной структуры в обучении, писал: «В большинстве методик оценки предполагается, что больше – лучше. Однако, с таким подходом можно ошибочно считать, что экспертные карты могут быть больше, чем карты новичков по тому же предмету» (Kinchin, 2014, с. 44). В качестве поясняющего примера он приводит результаты исследования (Johnstone & Otis, 2006), в котором количество понятий в концептуальной карте у учащихся, получивших низкие и высокие баллы за экзамен, было примерно одинаковым (Рисунок 3). Авторы на этих данных приходили к выводу, что количественная, формализованная оценка качества понятийной структуры невозможна и необходимо использовать качественные, индивидуализированные методы оценки. Однако развитие вычислительных теорий и методов предоставляет такие количественные индикаторы, доступные для подсчета.

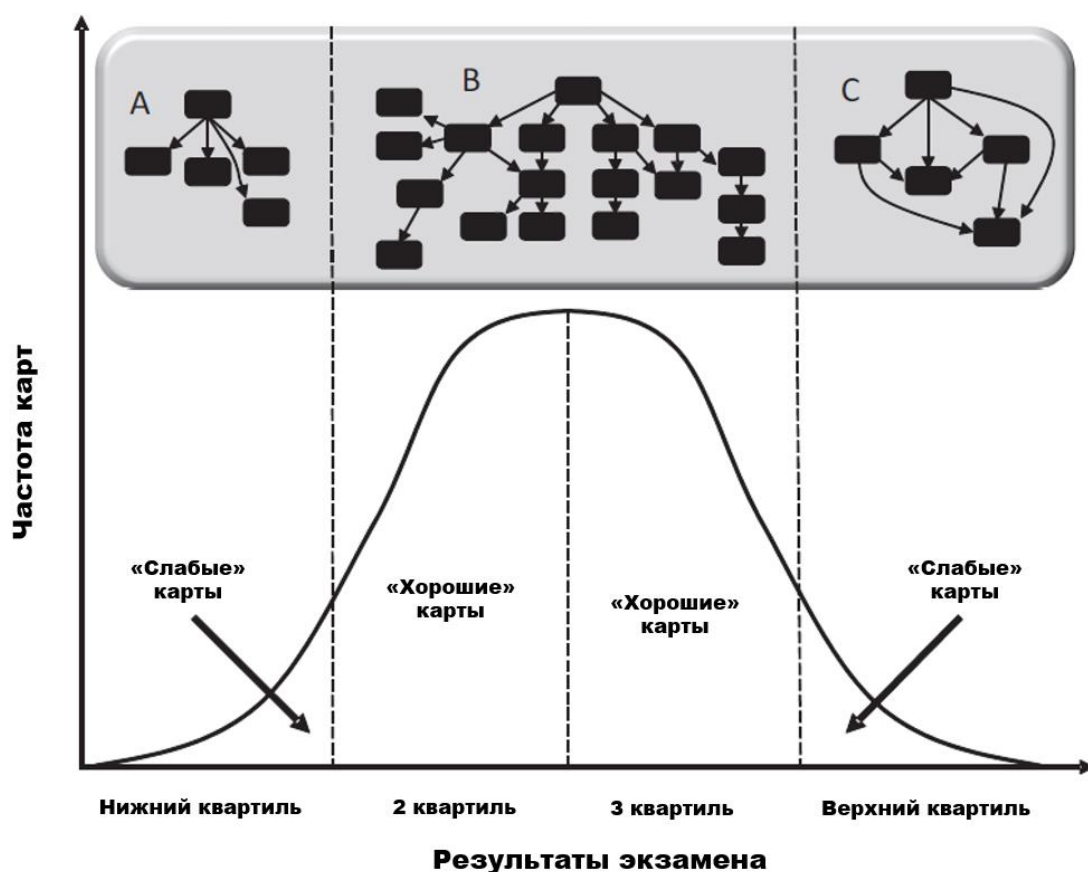


Рисунок 3. Связь между результатами экзамена и структурой карт (по Kinchin, 2014)

### Сетевой анализ как система оценки концептуальных карт

В течение последнего десятилетия исследователи достаточно часто начали обращаться к теории графов (Ifenthaler, 2011; Jamieson, 2012; Stockwell и др., 2009; Zouaq и др., 2011) и прикладному ее направлению – сетевому анализу (Frerichs и др., 2018; I. Koronen & Nousiainen, 2013; Siew, 2019; Thurn и др., 2020) для оценки понятийной структуры. Одним из ключевых преимуществ сетевого анализа является набор вычислительных методов, которые позволяют измерить структурные свойства сети. Но помимо методов сетевой анализ также приносит теоретически обоснованный подход к изучению того, как структура системы влияет на процессы, которые происходят внутри нее. Другими словами, используя инструменты сетевой науки, можно вычислить сетевые метрики, которые количественно оценивают такие параметры, как связность сети. Например, авторы считали такие показатели, как диаметр сети (напр., Siew, 2019) или разные индексы центральности (напр., Koronen & Nousiainen, 2013), которые будут рассмотрены далее. Однако теоретические предпосылки, укорененные в научном понимании особенностей мышления человека, не были распространены в подобных работах и не использовались при интерпретации вычислительных методов, что подтверждается выводами нашего исследования и будет более подробно раскрыто в части с описанием основных результатов исследования.

Таким образом, в настоящий момент проблема валидации количественной оценки понятийной структуры с помощью концептуальных карт систематически не описана, а также не разработано единого понимания того, какие именно количественные индикаторы говорят о характеристиках понятийной структуры.

## ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования заключалась в унификации и валидации количественного подхода к оценке понятийной структуры, основанного на сетевом анализе. Таким образом, настоящая работа вносит вклад в развитие инструментария оценки для дальнейшего его применения в исследованиях особенности развития понятийной структуры. Относительно валидности, мы вслед за С.Мессиком (Messick, 1995) считаем, что валидизация является сложным процессом, не имеющим единого критерия, и для достижения валидности требуется проведение множества исследований, направленных на проверку различных гипотез об особенностях работы инструмента.

Достижение поставленной цели исследования было обеспечено решением следующих задач:

1. На основе анализа теоретических подходов и эмпирических работ обобщить и проанализировать существующие методы количественной оценки концептуальных карт и возможности сетевого анализа для такой оценки.
2. Проверить валидность количественных индикаторов из сетевого анализа для оценки сложности понятийной структуры с помощью концептуальных карт.
3. С использованием валидизированных индикаторов сравнить функционирование концептуальных карт разного типа (с заданным списком понятий и без такого списка).
4. Разработать и валидизировать комплексные теоретически обоснованные количественные индикаторы для оценки сложности понятийной структуры с помощью концептуальных карт, основанные на методах сетевого анализа.

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ВОПРОСЫ

Для достижения цели работы необходимо ответить на несколько исследовательских вопросов.

**Исследовательский вопрос 1.** Какие когнитивные теории используются для интерпретации результатов измерения понятийной структуры с использованием концептуальных карт и сетевого анализа?

Ответ на этот исследовательский вопрос позволит систематизировать поле имеющейся литературы в отношении возможностей сетевого анализа и когнитивных теорий для оценки концептуальных карт, а также отобрать индикаторы сетевого анализа для дальнейшей валидизации.

*Результаты отображены в публикации:* Капуза, А. В., & Тюменева, Ю. А. (2023). Придавая смысл: Психологические теории для интерпретации концептуальных карт. *Мир психологии*, 112(1), 132–143.

*Авторский вклад:* постановка проблемы, сбор, анализ, интерпретация данных

**Исследовательский вопрос 2.** Валидны ли индикаторы из сетевого анализа для определения уровня сложности понятийной структуры с помощью концептуальных карт?

Ответ на этот исследовательский вопрос предоставит доказательства того, что отобранные количественные индикаторы связаны с уровнем развития знаний в какой-либо области.

*Результаты отображены в публикации:* Тюменева, Ю. А., Капуза, А. В., Вергелес, К. П. (2017). Различительная способность концептуальных карт для оценки уровня компетенции. *Вопросы образования*, (4), 150-170.

*Авторский вклад:* постановка проблемы, обзор литературы, сбор, анализ, интерпретация данных.

**Исследовательский вопрос 3.** Как различаются концептуальные карты разного типа (с заданным списком понятий и без такого списка) по индикаторам из сетевого анализа?

Ответ на этот исследовательский вопрос позволит понять, следует ли учитывать тип инструкции на построение концептуальных карт при интерпретации количественных индикаторов из сетевого анализа.

*Результаты отображены в публикации:* Kapuza, A. (2020). How concept maps with and without a list of concepts differ: The case of statistics. *Education Sciences*, 10(4), 91.

**Исследовательский вопрос 4.** Какие индикаторы для оценки понятийной структуры, основанные на сетевом анализе, могут быть разработаны так, чтобы они отвечали теоретическим представлениям о психологии обучения и когнитивного развития?

Ответ на этот исследовательский вопрос подразумевает соотнесение аналитических методов сетевого анализа, проверенных в задачах 2-3, с теориями обучения и когнитивного развития, рассмотренными в задачах 1-2, и предложение более целостных и фундированных индикаторов или методов для оценки понятийной структуры.

*Результаты отображены в публикации:* Kapuza, A., Koponen, I. T., Tyumeneva, Y. (2020). 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*, 51(6), 2574-2591.

*Авторский вклад:* постановка проблемы, обзор литературы, разработка модели, сбор, анализ, интерпретация данных.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ РАМКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для того, чтобы построить теоретическую рамку исследования, необходимо рассмотреть когнитивные теории, описывающие развитие понятийной структуры, а также теоретические предпосылки использования различных индикаторов в сетевом анализе.

### **Теории обучения и когнитивного развития, применимые для объяснения развития понятийно структуры**

В литературе, посвященной измерению и оценке понятийной структуры, авторы достаточно часто ссылаются на теорию схем (*schema theory, schemata*), поэтому начнем обзор теорий с нее. Теория схем в современном её виде разработана Д. Румельхартом (Rumelhart, 1978) и Р. Андерсоном (R. C. Anderson & Pearson, 1984). В самом общем виде, схема – это абстрактная организованная структура, которая состоит из понятий, связанных друг с другом посредством предложений, и существует на более высоком уровне общности, чем непосредственный опыт (R. C. Anderson & Pearson, 1984). Эта идея сходна с идеей гештальт-психологов о том, что человек все воспринимает «кусками» (*chunks*) (J. R. Anderson, 2015). В этой логике также разрабатывались теории структурной организации понятий, например, гипотеза двойного кодирования А. Пайвио (Paivio, 1974) или концептуально-пропозиционная гипотеза кодирования Д. Андерсона и Г. Бауэра (J. R. Anderson & Bower, 1974). Однако основное внимание в них уделялось классификации ментальных репрезентаций (вербальные (семантические), образные (иконические) и др.) и объяснению закономерностей долговременного хранения информации и ее воспроизведения в принципе.

Рассматривая вопрос обучения с точки зрения теории схем, важно отметить, что уже существующая схема обеспечивает контекст для интерпретации новых знаний и является структурой для их сохранения. Еще до активного развития теории схем когнитивный психолог Д. Аусубел разрабатывал подход осмысленного обучения (*meaningful learning*) и подчеркивал, что учащиеся более активно и качественно осваивают новые концепции при условии уже существующих когнитивных структур (Ausubel и др., 1978). Учителям рекомендовалось активировать предыдущие знания перед началом изучения новой темы и уделять больше внимания преподаванию процессов понимания высшего порядка. Эти предложения были не новы, но теория схемы, как представляется, обеспечила теоретическую и эмпирическую основу для подобных практик.

Продолжил идею обучения на основе уже существующих у учеников схем Д. Новак, приложив основные идеи теории осмысленного обучения к практике в классе (Novak, 1977). Для того, чтобы понять, каким образом происходит интеграция новой информации в уже существующую систему, было необходимо ответить на вопрос, как структурируются понятия. Однако на тот момент не существовало общепринятых методов исследования, с помощью которых можно исследовать подобную интеграцию. Тем не менее, в ходе клинических интервью командой исследователей был разработан метод концептуальных карт<sup>1</sup> (Novak, 1990).

Теоретические предположения о том, как развивается понятийная структура, прослеживаются в более широких теориях в области психологии. В когнитивной психологии можно выделить несколько подходов к описанию организации понятий и ее изменению в связи с обучением или приобретением нового опыта (Капуза & Тюменева, 2023). Здесь наиболее полезной оказывается группа теорий о формировании семантических схем и сетей (напр., теории А. Коллинза и М. Квиллиана; Э. Рош; П. Линдсея и Д. Нормана). Понятия и иерархии понятий можно представить как семантические сети, в узлах которых располагаются сами понятия, а связи между ними – это логические, ассоциативные, иерархические и любые другие отношения.

Однако вопрос об изменении структуры понятий во время систематического обучения оказался все же вне поля зрения теорий семантических сетей. Хотя, казалось бы, и сами понятия, и иерархические отношения между ними формируются (во всяком случае целенаправленно) именно в обучении, вопрос формирования понятий целиком лежит в сфере интересов психологии развития и обучения. В англоязычной литературе прежде всего выделяются работы, касающиеся т.н. концептуальных изменений (*conceptual change* (для обзора см. Özdemir & Clark, 2007)) – перестройке представлений в процессе обучения. Концептуальные изменения описываются как происходящие на нескольких уровнях, хотя разные авторы используют альтернативные термины для описания схожих изменений. Чаще всего говорится о двух типах концептуальных изменений: слабой перестройке знаний, ассимиляции или концептуальном поглощении (концептуальном приращении, захвате, *conceptual capture*) и сильной/радикальной перестройке знаний или концептуальной заменой (концептуальным обменом, *conceptual change*) (для обзора см. Harrison & Treagust, 2000).

Такое разделение очевидно вдохновляется взглядами Пиаже на развитие мышления как на постоянный процесс взаимной адаптации входящей информации и существующих когнитивных схем. Напомним, что Пиаже выделял процессы ассимиляции и аккомодации, где первые связаны с выстраиванием новой информации для встраивания ее в имеющуюся когнитивную схему, а второе – с перестройкой самой схемы, чтобы приспособить ее усвоения для новой информации (Piaget, 1964). Эти процессы, по Пиаже, действуют всегда совместно, позволяя достигать сбалансированной непротиворечивой интерпретации происходящего в окружающем мире.

Хотя теоретическое разделение этих процессов в ходе развития когнитивных структур оказалось исключительно полезно для понимания возрастных особенностей мышления, все же этого теоретического фундамента недостаточно для понимания изменений понятийной структуры в связи с обучением. Выготский, разделяя позицию Пиаже в отношении необходимости различать спонтанные (жизненные) и неспонтанные (научные) понятия, предлагает для исследования генезиса научных понятий альтернативный метод, не вырывающий их из системы связей со всеми остальными понятиями (Выготский, 1999). Необходимость изучения понятий в системе других понятий

---

<sup>1</sup> От англ. *concept maps* (карты понятий). В русскоязычной литературе также используется термин *концепт-карты*. Более точный перевод – *понятийные карты* или *карты понятий*, однако для сопоставления с англоязычной литературой мы будем придерживаться термина «концептуальные карты».

Выготский усматривает в том, что научное понятие всегда существует как некоторое обобщение, и следовательно только и может быть освоено в отношении с другими понятиями: «..обобщение, в свою очередь, не означает ничего иного, кроме образования высшего понятия, в систему обобщения которого включено данное понятие как частный случай. Но если за данным понятием возникает высшее понятие, оно необходимо предполагает наличие не одного, а ряда соподчиненных понятий, к которым данное понятие стоит в отношениях, определенных системой высшего понятия, - без этого высшее понятие не было бы высшим по отношению к данному» (Выготский, 1999, с. 206).

Гипотеза Выготского заключается в том, что ход развития структуры научных понятий противоположен житейским. При этом «житейскость» и «научность» определяются не содержанием понятий, а способом их усвоения. Житейские понятия возникают как конкретные, частные, и развиваются до абстрактных обобщенных значений. В отличие от этого, научные понятия, в процессе формального обучения вводятся как абстрактные значения, и постепенно должны быть осознаны как обобщения, подчиняющие конкретные объекты и явления, и связанные с другими научными обобщениями. Например, при изучении статистики понятие корреляции сначала может быть представлено только как формальная статистика, не связанная с другими понятиями и не плохо снабженная примерами применения. После того как человек сталкивается с различными ситуациями, в которых применяется корреляция, это понятие, во-первых, формирует устойчивую систему связей с другим абстрактными понятиями статистики (регрессия, среднее), а во-вторых, конкретизируется за счет богатого деталями содержания ситуаций своего применения (например, для прогнозирования погоды или распространения заболеваний).

Вместе с этими теоретическими обобщениями могут быть выдвинуты более конкретные ожидания относительно изменений, связанных с обучением, в понятийной структуре. В частности, хорошо известны особенности когнитивной обработки, отличающие экспертов от новичков. Так, считается, что знания экспертов в какой-либо области лучше структурированы и иерархизированы, то есть при решении некоторой задачи эксперты репрезентируют ее таким образом, что сама репрезентация уже содержит основу для последующего решения (Chi и др., 1981; Kim, 2013). Кроме того, эксперты извлекают необходимую информацию из памяти легче, чем новички (Ericsson и др., 2000). Учитывая, что извлечение из памяти указывает на наличие связей между различными элементами знаний, можно предположить, что в хорошо развитой понятийной структуре крайне высокая плотность связи между элементами структуры (возвращаясь к Пиаже – высокая степень аккомодации).

Из вышеизложенного напрашивается идея о возможности объединить представление о сетевой организации понятий с теориями развития понятий, прежде всего с теорией Выготского о формировании осознанных, научных понятий, предлагающей содержательное описание изменений в понимании учащимся учебного материала по мере владения им. Такой союз мог бы дать совершенно новый подход к динамической оценке процессов и результатов обучения именно с точки зрения центрального преобразования — понятийного развития (Капуза & Тюменева, 2023). Однако до сих пор в направлении такого синтеза сделано не очень много и работы, как было показано в предыдущих разделах, в основном носят эмпирический, дескриптивный характер, но не интерпретативный.

#### **Сетевой анализ для оценки понятийной структуры**

Сетевой анализ – это методологический подход, фокусирующийся на исследовании взаимосвязей и взаимодействий между различными узлами в сетевых структурах. Основная цель этой теории заключается в изучении свойств и динамики сетей, а также выявлении общих закономерностей, определяющих их функционирование. Одной из основных задач является анализ топологии сетей — структуры и распределения связей между узлами.

Сетевой анализ предоставляет важные теоретические основы для исследований различных сетей благодаря математическим моделям графов с хорошо описанными их свойствами, и наличию установленных статистических методов, которые позволяют формализовать и анализировать структуру сетей. Например, работа М. Ньюмана (M. Newman, 2018) предоставляют глубокий обзор теории анализа сетей, выделяя её теоретический характер и ключевые проблемы, решаемые ей.

Сетевой анализ является мощным инструментом для изучения структуры сложных систем, в том числе уровня структурирования информации в сети (Newman, 2018). Например, сетевой анализ широко используется для анализа широты и взаимосвязи баз знаний, таких, как Всемирная паутина (*World Wide Web*) или отдельные сайты типа *Wikipedia*. Такой анализ позволяет определить связность сети, которая является ключевым понятием в этой области, и степень важности отдельных узлов графа. Связность сети описывает, насколько тесно связаны узлы в сети и как легко информация может распространяться между ними. Существуют различные меры связности, которые могут быть использованы для оценки связности сети, например, коэффициент кластеризации, центральность и т.д. (Estrada, 2016; Newman, 2018). Центральность – это мера важности узлов в сети, и она 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.

Некоторые из наиболее распространенных мер центральности включают:

1. Центральность посредничества (*betweenness centrality*) – это мера, основанная на том, насколько часто узел используется в качестве промежуточного звена на кратчайшем пути между двумя другими узлами в сети. Узлы с высокой центральностью посредничества могут играть важную роль в передаче информации и контроле за потоками в сети.

2. Центральность степени (*degree centrality*) – это мера, основанная на количестве связей, которые имеет узел в сети. Узлы с высокой центральностью степени являются более связными и могут играть важную роль в передаче информации и контроле за потоками в сети.

3. Центральность близости (*closeness centrality*) – это мера, основанная на расстоянии между узлом и остальными узлами в сети. Узлы с высокой центральностью близости находятся ближе всего к остальным узлам в сети и могут быстро передавать информацию по сети.

4. *PageRank* центральность – это мера центральности, которая используется в алгоритме Google для ранжирования веб-страниц. Она основана на идее, что веб-страница важна, если на нее ссылаются другие важные страницы. Другими словами, веб-страница считается важной, если на нее ссылаются другие важные страницы. В этой модели, случайный пользователь начинает с одной страницы и переходит на другую страницу по ссылке. Вероятность перехода на каждую страницу зависит от количества ссылок на нее и их важности. Чем больше ссылок на страницу и чем важнее эти ссылки, тем выше вероятность перехода на эту страницу.

Для определения важности веб-страниц с учетом их взаимосвязи также разработан алгоритм HITS. HITS (Hyperlink-Induced Topic Search) – это алгоритм, используемый в сетевом анализе для оценки важности веб-страниц, и он основывается на концепции взаимосвязей между веб-страницами.

Алгоритм HITS использует два показателя для оценки важности веб-страниц: статистика авторитетности страницы (*authority*) и статистика хаб-страниц (*hub*) (Рисунок 4). *Authority* — это показатель, описывающий, насколько важна данная веб-страница для конкретной темы, которая исследуется. *Hub* – это показатель, описывающий, насколько данная веб-страница ссылается на другие веб-страницы, связанные с конкретной темой.



Алгоритм HITS широко используется в сетевом анализе для оценки важности веб-страниц, но может быть использован и для других типов сетей.

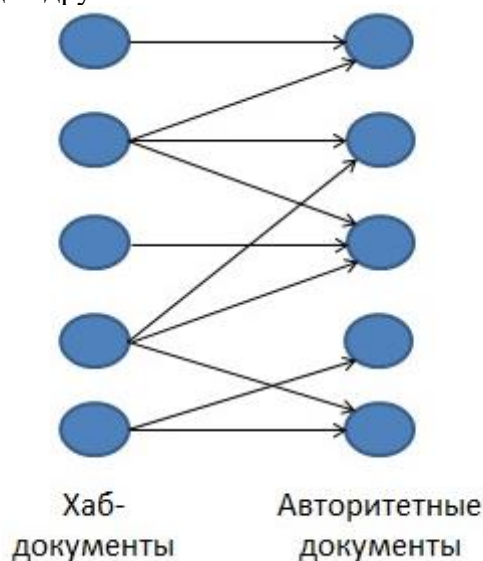


Рисунок 4. Визуализация хаб страниц (слева) и авторитетных страниц (справа)<sup>2</sup>

В целом, сетевой анализ является мощным инструментом для изучения структуры и процессов в сетях, и может быть использован для измерения уровня структурирования информации в сети. Однако, для достижения наилучших результатов необходимо тщательно выбирать метрики и методы анализа, и учитывать контекст и цели исследования. Будучи перенесенными в область когнитивной психологии, такие показатели требуют не только технической, но и содержательной психологической интерпретации (Капуза & Тюменева, 2023).

## МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ

Для ответа на **первый исследовательский вопрос** («Какие когнитивные теории используются для интерпретации результатов измерения понятийной структуры с использованием концептуальных карт и сетевого анализа?») был произведен систематический обзор литературы. В Scopus, библиографической базе данных, включающей исследовательскую литературу в различных областях, был произведен поиск по аннотациям статей, содержащих словосочетание «concept map\*» (при этом, во втором слове могло быть любое, начинающееся с map) и одно из следующих сочетаний: «network science», «graph theory», «network theory». В общей сложности 88 статей были отобраны для дальнейшего анализа.

Аннотации всех найденных статей были проверены на предмет соответствия задачи исследования. Так, исключались исследования, в которых концептуальные карты использовались в качестве основы для интервенции в экспериментальном дизайне (9 статей), а также те, в которых концептуальные карты использовались в качестве метода организации информации в ходе интервью или работы с экспертами (7 статей). Кроме того, были исключены литературные обзоры по использованию концептуальных карт и исследования, не содержащие анализа концептуальных карт методами сетевого анализа. В случаях, когда аннотация не содержала всей необходимой информации, просматривался полный текст. Итого для содержательного анализа были отобраны 10 статей.

<sup>2</sup> Источник: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BC\\_HITS](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BC_HITS)

Далее были проанализированы полные тексты отобранных 10 статей на предмет использования когнитивных теорий для интерпретации результатов концептуальных карт. Использование теории считалось ее описание с привязкой к рассматриваемым далее индикаторам или объяснение полученных результатов в рамках этой теории. Затем оценивалось, относится ли использованная теория к теориям когнитивной психологии.

Для **исследовательских вопросов 2-4** в течение 2016-2019 гг. были собраны данные концептуальных карт в области знания, связанной с базовыми методами анализа данных в социальных науках. Выборка включила сотрудников и студентов НИУ ВШЭ, а конкретнее Института образования. На такой выборке лучше контролировать гомогенность среды, в которой приобретаются и применяются эти знания и, кроме того, эта область знаний знакома всем студентам.

Всего было собрано около 60 концептуальных карт, для анализа было использовано 55. В самом общем виде, для построения карт респонденты сначала знакомились с письменной инструкцией по построению концептуальных карт с визуальными примерами, а затем была дана общая инструкция: «Используя белый лист бумаги формата А4 от руки нарисуйте концептуальную карту области Статистический анализ данных». Далее будут более конкретно описаны данные и методология, использованные для ответа на каждый исследовательский вопрос.

Для ответа на **второй исследовательский вопрос** («Валидны ли индикаторы из сетевого анализа для определения уровня сложности понятийной структуры с помощью концептуальных карт?») были использованы 13 карт открытого типа (задана только тема). Задачей исследования было выявить и проверить валидность формальных индикаторов из вычислительных теорий для оценки сложности понятийной с помощью концептуальных карт. Для этого был выбран метод сравнения концептуальных карт новичков и экспертов. Сравнение таких групп используется во многих исследованиях, в том числе понятийной структуры, так как имеются убедительные основания полагать, что экспертиза характеризуется не столько накоплением знаний, сколько способом их упорядочивания и стратегиями их применения (Chi, 2011).

В исследовании были использованы данные из карт девяти «новичков» (студентов 1-го курса магистратуры, успешно окончивших курс по статистическому анализу) и четырех экспертов (преподавателей методов анализа данных со стажем работы более четырех лет, имеющие не менее шести публикаций с результатами статистического анализа данных в рецензируемых журналах). На первом шаге с помощью U-критерия Манна-Уитни была проанализирована значимость различий между группами по таким формальным индикаторам из сетевого анализа, как:

- количество узлов;
- количество ребер;
- разрозненность<sup>3</sup> (отношение числа понятий к числу ребер между ними);
- висячие узлы (узлы, которые имеют только одну связь с другими узлами, независимо от направления);
- смежные ребра (ребра, входящие в один и тот же узел);
- объем – 1-й уровень (количество узлов только с одним исходящим ребром), 2-й уровень (количество узлов с двумя исходящими ребрами), 3-й уровень (количество узлов с тремя исходящими ребрами);
- иерархические узлы (имеющие как входящие, так и исходящие ребра);

---

<sup>3</sup> В публикациях используется термин «связанность» вслед за другими публикациями, использующими этот показатель именно в таком виде (отношение числа понятий к числу ребер между ними), однако его интерпретация контринтуитивна: чем больше значение, тем меньше связанность. Поэтому в настоящей работе мы используем термин, не являющийся общепринятым, но являющийся более прямым в интерпретации – «разрозненность».

- степень обобщенности (отношение среднее количество исходящих ребер трех самых объемных понятий в КК к уровню иерархичности исходящих понятий).

Ожидалось, что у экспертов будут выше показатели по смежным ребрам, 2 уровню объема, степени обобщенности, иерархическим узлам, и ниже – по количеству висячих узлов и разрозненности.

На втором шаге был проведен качественный анализ содержания понятий и связей в картах, какие именно понятия используются и как именно называются ребра между ними. Качественная оценка важна, так как если будет обнаружено соответствие качественных индикаторов карт контрастных групп прежде полученным данным, то будет подтверждена конструктивная валидность открытых (т.е. не содержащих заданного списка понятий) концептуальных карт как инструмента для оценки понятийной структуры экспертов и новичков.

Было проанализировано три качественных индикатора понятийной структуры. Во-первых, мы ожидали увидеть некоторый общий набор ключевых понятий в группе экспертов. Многочисленные исследования решения задач экспертами и новичками показали, что в любой области эксперты имеют общие представления о том, что является ключевой (т. е. структурообразующей) информацией в их профессиональных задачах, новички же не обладают еще ключевыми для решения профессиональных задач знаниями. Соответственно, не должно обнаружиться общего для всех новичков набора понятий — ни аналогичного экспертному, ни какого-либо другого.

Во-вторых, мы ожидали, что эксперты будут преимущественно использовать понятия, относящиеся к так называемым декларативным знаниям (идеям, теориям, концепциям), а новички—понятия, связанные со способами решения задачи, т.е. с процедурными знаниями, как это показано в предыдущих экспериментах (Chi и др., 1981; Rittle-Johnson & Schneider, 2015; Sloutsky & Yarlas, 2000; Stylianou, 2002). В-третьих, мы предполагали, что новички будут совершать ошибки, связывая понятия, а эксперты—нет. Во всех без исключения известных нам исследованиях были зафиксированы ошибки связывания понятий у новичков, хотя в них не использовалась открытая форма концептуальных карт. Следовательно, обнаружив ошибки в группе новичков и не обнаружив их в группе экспертов, мы также подтвердим конструктивную валидность открытых концептуальных карт.

Для ответа на **третий исследовательский вопрос** («Как различаются концептуальные карты с разным типом задания на построение (с заданным списком понятий и без такого списка) в терминах индикаторов из сетевого анализа?») было использовано 22 карты, нарисованных 11 студентами магистратуры, прошедшими курс по основным методам анализа данных. Так как задачей являлась проверка функционирования выявленных в ходе ответа на предыдущий исследовательский вопрос индикаторов в концептуальных картах с разным типом заданий, каждый студент построил две карты. Сначала, через два месяца после окончания курса, участники строили открытые концептуальные карты (только тема). Затем, еще через три недели, участники получили те же инструкции, но их также попросили использовать список из 25 понятий, отображенных на основе учебной программы курса и предыдущих исследований, а также с использованием четырех экспертных концептуальных карт из предыдущего исследования. Участники могли сами добавить в список не более двух понятий. Дизайн, при котором все участники сначала не использовали список, а затем все использовали (то есть не было тех, кто сначала использовал список, а затем не использовал), имеет и достоинства, и ограничения, которые надо иметь в виду. К достоинствам относится то, что при свободном построении все участники были в одинаковой позиции и не могли никак опираться на список, так как никто его еще не видел. К недостаткам относится невозможность изолировать результаты от эффекта именно такого направления построения (сначала без списка, потом со списком).

При этом из-за размера выборки было нерационально строить дизайн, деля участников на две группы (без списка – список и список – без списка) и сравнивая их результаты. Внутригрупповое выравнивание, стандартная процедура для такого типа дизайна, не применялась нами, так как оно бы привело к возникновению дополнительных неконтролируемых эффектов предварительного опыта картирования понятий.

В рамках исследования были выдвинуты следующие гипотезы:

(H1): значения индикаторов одинаковы для обоих типов инструкций;

(H2): учащиеся используют больше технических концепций на низком уровне абстракции в инструкции без списка, чем в инструкции со списком;

(H3): учащиеся используют фундаментальные понятия независимо от типа инструкции.

В качестве индикаторов для проверки гипотезы H1 были использованы ранее подтвержденные как имеющие различительную способность в ходе предыдущего исследования (исследовательский вопрос 2):

- количество узлов;
- количество ребер;
- соотношение узлов и ребер;
- количество висячих узлов (количество узлов с одним ребром);
- % висячих узлов;
- количество узлов с тремя или более ребрами;
- % узлов с тремя или более ребрами.

А также на основе анализа литературы были добавлены два индикатора из сетевого анализа:

- диаметр сети;
- доля диаметра (отношение диаметра к общему количеству узлов).

Значимость различий средних значений всех этих индикаторов в зависимости от типа инструкции была проверена с помощью t-критерия Стьюдента с поправкой Уэлша на ненормальность распределения.

Для проверки гипотез H2 и H3 была построена одна общая карта из карт респондентов для каждого типа инструкции (без списка понятий и со списком понятий). Каждое понятие было вручную закодировано как техническое (процедурные знания – конкретные методы, программное обеспечение или тип результатов) или другая (более абстрактная). В качестве веса использовалось количество ребер между двумя узлами, извлеченными из разных карт. Затем для каждой концепции подсчитывалась взвешенная центральность близости (*closeness centrality*). Центральность близости показывает, насколько центральным является данное понятие по отношению ко всей сети. Для тестирования гипотезы H3 также с помощью алгоритма Гирвана-Ньюмена были выделены кластеры (*community*) понятий (Newman & Girvan, 2004).

Следующие девять понятий были признаны фундаментальными в исследовании: значимость, выборка, совокупность, распределение, гипотеза, данные, анализ, метод и вопрос исследования. Для тестирования H3 из списка было исключено одно фундаментальное понятие (значимость), чтобы проверить, добавят ли учащиеся его в список. Итоговый список включал как технические концепции (например, конкретные методы) (восемь из 25, 32%), отражающие процедурные знания, так и более абстрактные концепции.

Для ответа на **четвертый исследовательский вопрос** («Какие индикаторы для оценки понятийной структуры, основанные на сетевом анализе, могут быть разработаны так, чтобы они отвечали теоретическим представлениям о психологии обучения и когнитивного развития??»), помимо обобщения выводов предыдущих двух исследовательских вопросов, было проведено также эмпирическое исследование. Задачей

эмпирического исследования было разработать и апробировать формализованный подход к оценке концептуальных карт с использованием сетевого анализа. Для этого исследования были привлечены десять студентов первого курса магистратуры, изучающих статистику, и 4 эксперта из исследовательского вопроса №2. Каждый студент построил две карты в ходе прохождения курса «Статистический анализ данных». Первые карты (начальный уровень) были созданы через шесть недель после начала этого курса. Вторые карты (продвинутый уровень) были созданы в конце курса – 6 месяцев спустя, перед результирующим экзаменом по курсу. Так как в ходе ответа на второй исследовательский вопрос были показаны различия в зависимости от типа инструкций, участникам случайным образом предлагалось построить карту или открытого типа (только тема) или дополнительно используя список понятий из исследовательского вопроса №3.

Затем на основе анализа литературы, выполненного в процессе ответа на первый исследовательский вопрос, были разработаны три новых индикатора, основанных на сетевом анализе, и интерпретируемых в терминах когнитивных теорий (подробнее они описаны в разделе Основные результаты исследования).

Для проверки и валидации разработанных мер мы проводили с помощью t-критерия Стьюдента с поправкой Уэлша на ненормальность распределения сравнение трех групп (начальный уровень, продвинутый уровень, эксперты - критериальная) по вновь разработанным и уже использованным в ходе ответа на исследовательские вопросы 2 и 3 (количество узлов; количество ребер; соотношение узлов и ребер; среднее количество ребер у узла) индикаторам, а также индикаторам из сетевого анализа, использованным для разработки (компоненты алгоритма HITS – авторитетные страницы и хаб-страницы, центральность PageRank).

Ожидалось, что все разработанные индикаторы, а также средняя степень узлов и средние значения статистики хаб-страниц будут выше у подготовленных студентов, и особенно у экспертов, по сравнению со студентами начального уровня. И наоборот, соотношение узлов и ребер, средние значения статистики авторитетных страниц и PageRank центральности в этих группах будут ниже, поскольку они стандартизированы.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Соответствие исследовательских вопросов, задач и публикаций, в которых отражены основные результаты, представлено в Таблице 2.

Таблица 2. Соответствие публикаций, задач и результатов диссертационного исследования

	<b>Статья 1</b> (Капуза & Тюменева, 2023)	<b>Статья 2</b> (Тюменева и др., 2017)	<b>Статья 3</b> (Капуза, 2020)	<b>Статья 4</b> (Капуза и др., 2020)
<b>Исследовательские вопросы</b>	ИВ 1	ИВ 2	ИВ 3	ИВ 1, ИВ 4
<b>Задачи</b>	<b>1:</b> обобщить и проанализировать существующие методы количественной оценки концептуальных карт и возможности сетевого анализа для такой оценки	<b>2:</b> проверить валидность количественных индикаторов из сетевого анализа для оценки сложности понятийной структуры с помощью концептуальных карт	<b>3:</b> сравнить функционирование концептуальных карт разного типа (с заданным списком понятий и без такого списка)	<b>1, 4:</b> разработать и валидизировать комплексные теоретически обоснованные количественные индикаторы, основанные на методах сетевого анализа

	<b>Статья 1</b> (Капуза & Тюменева, 2023)	<b>Статья 2</b> (Тюменева и др., 2017)	<b>Статья 3</b> (Капуза, 2020)	<b>Статья 4</b> (Капуза и др., 2020)
<b>Выборка</b>	88 аннотаций публикаций, 10 полных текстов	9 новичков, 4 эксперта	11 участников, 2 волны	10 участников, 2 волны + 4 эксперта из статьи 2
<b>Методология</b>	Анализ текстов на предмет использования когнитивных теорий для интерпретации метрик сетевого анализа в концептуальных картах	Открытое задание, только тема 1. Сравнение групп по индикаторам из сетевого анализа 2. Качественный анализ содержания	1 волна – открытое задание, 2 волна – задание со списком. 1. Сравнение волн по индикаторам из сетевого анализа 2. Качественный анализ содержания карт	Случайным образом открытое задание или список. 1. Разработка теоретически соответствующих индикаторов 2. Сравнение групп по индикаторам из сетевого анализа и новым разработанным индикаторам
<b>Основные результаты</b>	Потенциал когнитивных теорий не используется в исследованиях концептуальных карт, где применяется сетевой анализ	Характеристики понятийной структуры, различающиеся, судя по данным предыдущих исследований, у экспертов и новичков, получили свои индикационные элементы в концептуальных картах. Эти индикаторы формально описываются как соотношения разных типов узлов и ребер сети и отвечают на вопрос о ее связности.	Концептуальные карты с заданным списком стимулируют учащихся демонстрировать более высокую связность понятийной структуры, поэтому в дальнейшем анализе следует учитывать тип инструкции.	На базе сетевого анализа разработаны три индикатора в соответствии с теоретическими представлениями о том, что такое понятийная структура: емкость сети, распределенность понятий, извлекаемость понятий. Они демонстрируют свою различительную способность.

**Исследовательский вопрос 1: какие когнитивные теории используются для интерпретации результатов измерения понятийной структуры с использованием концептуальных карт и сетевого анализа?**

Всего в рассматриваемых публикациях было использовано 19 индикаторов, относящийся к сетевому анализу. Чаще всего использовались количество связей (ребер) и узлов, степень центральности узлов, которая представляет собой число входящих и

исходящих ребер, и коэффициент кластеризации (склонность образовывать замкнутые треугольники). В то время как количество связей и узлов говорит, прежде всего, о размере нарисованной концептуальной карты, остальные меры так или иначе отражают степень связности и близости узлов (понятий) в карте. Кроме того, индикаторы так или иначе характеризовали расположение узлов по отношению друг к другу. В целом чаще всего вычисляются меры центральности, не только для отдельных узлов, но и средние значения для сети в целом. При этом используется широкий набор таких мер: степень центральности (*degree centrality*), степень посредничества (*betweenness centrality*), PageRank, степень близости (*closeness centrality*), степень подграфа (*subgraph centrality*).

Как и ожидалось, теоретические рамки, используемые для интерпретации результатов, в основном относились к сфере науки о данных – теория сложных систем, теория сложных или комплексных сетей (Таблица 2). Теория сложных систем изучает взаимодействия и связи между различными элементами в сложных системах и помогает понять, как такие системы функционируют, как они изменяются и как можно оптимизировать их работу. Удалось явно выделить только одну интерпретационную рамку, заданную содержательной психологической теорией – теорию концептуальных изменений. Также к теориям когнитивной психологии отчасти можно отнести теории семантических сетей. Однако упоминаемые авторами концепции не находят применения при интерпретации использованных индикаторов.

Таблица 2 – Теории, использованные в рассматриваемых 10 статьях

Теория	Кол-во статей	Статьи
Теория сложных систем (complexity science)	2	Gkevrou & Stamovlasis, 2022; Siew, 2019
Сложные/комплексные сети (complex networks)	2	Koponen & Pehkonen, 2010; Koponen & Nousiainen, 2013
Семантические сети (semantic networks)	1	Koponen & Nousiainen, 2018
Теория концептуальных изменений (conceptual change theory)	1	Thurn и др., 2020
Явно не обозначена	4	Goldman & Kane, 2014; Sun & Qu, 2015; Walker & King, 2003; Wilson, 1998

Таким образом, наша попытка проследить, как исследователи используют возможности когнитивных теорий и теорий когнитивного развития для понимания и оценки понятийной структуры у учащихся, показала, что в подавляющем большинстве случаев потенциал этих теорий не используется в исследованиях концептуальных карт, где применяется сетевой анализ.

**Исследовательский вопрос 2: валидны ли индикаторы из сетевого анализа для определения уровня сложности понятийной структуры с помощью концептуальных карт?**

В части сравнения групп по индикаторам из сетевого анализа, подтвердились ожидаемые тенденции: у экспертов были значимо выше степень обобщенности ( $U = 0$ ;  $p < 0,01$ ), количество комплексных понятий, т.е. узлов, имеющих смежные ребра, было больше у экспертов ( $M_{\text{эксперты}} = 11,0$ ,  $SD = 4,1$ ;  $M_{\text{новички}} = 2,8$ ,  $SD = 3,2$ ), и значимо ниже – количество

единичных понятий ( $U = 2,5$ ;  $p < 0,01$ ). Немаловажно, что различалась средняя разница в объеме трех наиболее объемных понятий ( $U = 0$ ,  $p < 0,01$ ). Этот показатель отражает равномерность обобщений в структуре и наличие переходных по уровню обобщения понятий, связывающих наиболее общее понятие с единичными. У экспертов обобщения более равномерны. Хотя группы экспертов и новичков не различались по среднему количеству узлов и ребер в концептуальных картах ( $U_{\text{узлов}} = 6,5$ ;  $p > 0,05$ ;  $U_{\text{ребер}} = 19,5$ ;  $p > 0,05$ ), отношение количества узлов и ребер на индивидуальном уровне по критерию Манна-Уитни статистически значимо различалось в двух группах ( $U = 0$ ;  $p = 0,01$ ). Как и ожидалось, уровень связанности концептуальных карт у экспертов был выше, чем у новичков.

В части качественного анализа содержания карт новичков и экспертов были подтверждены три отличительные особенности карт новичков: отсутствие единого набора используемых понятий; преимущественное использование процедурных, технических понятий; ошибочные связи между понятиями. Единый для группы специалистов набор понятий трактуется как ключевой для данной области знания. У наших экспертов в этом качестве выступили следующие понятия: «гипотеза», «данные», «анализ», «переменные» и «результаты». Их использовали все эксперты без исключения. Новички из этого списка использовали только термины «переменные» и «данные» и фактически игнорировали «гипотезу», «анализ» и «результаты». Нельзя было исключать возможность, что новички выделяют в качестве ключевых какие-то другие понятия. Однако оказалось, что в их картах практически не встречаются одинаковые понятия, что может свидетельствовать об отсутствии сформированных ключевых понятий на начальном уровне развития компетентности.

Имеющиеся данные об особенностях решения задач экспертами и новичками дают основание ожидать от экспертов преимущественного использования понятий, относящихся к так называемым декларативным знаниям (идеям, теориям, концепциям), а от новичков — использования процедурных понятий. Действительно, КК экспертов помимо общих, ключевых для данной области понятий («гипотеза», «исследовательский вопрос», «анализ» и др.) в обязательном порядке содержали другие теоретически нагруженные понятия, например «выборка», «связь», «различия» или «концепции», «модели», «ковариаты», «интерпретация результатов», «задачи исследования», «метод». Новички же отдавали предпочтение процедурным понятиям, которые описывают действия по анализу данных. Например, они перечисляли виды регрессионного анализа или шаги, необходимые для его выполнения.

Ошибочные связи между понятиями. В отличие от экспертов, новички нередко устанавливали ошибочные связи между понятиями. Например, ошибочными являются интерпретация «переменных» как формы описания «данных», или «вывод», следующий непосредственно из «построенной модели», или объяснительная функция «статистики» по отношению к «исследованию», или замкнутая циклическая связь между понятиями «анализ данных», «переменные» и «данные».

Результаты позволили, во-первых, теоретически определить такие формальные индикаторы концептуальных карт, которые отражали бы определенные особенности понятийной, а во-вторых, убедиться в различительной способности этих индикаторов, сопоставив две контрастные группы — новичков и экспертов в определенной области знаний. Обе цели были достигнуты. Иными словами, в результате нашей работы характеристики понятийной, различающиеся, судя по данным предыдущих исследований, у экспертов и новичков, получили свои индикаторные элементы в концептуальных картах. Эти индикаторы, рассматриваемые здесь как элементы графа, формально описываются как соотношения разных типов узлов и ребер, представленных в карте. Важно, что именно такой формальный подход позволил превратить крайне индивидуализированные



концептуальные карты в набор объективных параметров, не зависящих от профессионального уровня самих оценщиков карт.

**Исследовательский вопрос 3: как различаются концептуальные карты разного типа (с заданным списком понятий и без такого списка) по индикаторам из сетевого анализа?**

Первая гипотеза (H1) предполагала отсутствие различий в значениях индикаторов концептуальных карт со списком понятий и без него. Результаты показали, что связность, измеренная через отношение числа концептов к количеству ребер, была выше (что характерно для более развитой понятийной структуры) для концептуальных карт со списком понятий. Рост связности был обусловлен уменьшением количества понятий только с одной связью, в то время как количество понятий с тремя и более связями оставалось стабильным. Это означает, что респондентам было проще включать понятия в структуру, но они все равно не могли видеть связи между всеми понятиями. Тот факт, что даже в такой небольшой выборке были обнаружены существенные различия, свидетельствует о важности этих различий.

Вторая гипотеза (H2) касалась того, как учащиеся использовали технические понятия, относящиеся к воспроизведению конкретных действий и процедур. Предыдущие исследования, включая результаты предыдущего исследовательского вопроса, показывают, что использование таких понятий связано с менее развитыми структурами и характерно для новичков. Результаты показали, что такие понятия использовались одинаково независимо от типа инструкции. Одни и те же группы технических понятий («регрессия» или «проверка гипотез») появились в обоих случаях, со списком и без него. Однако для более абстрактных понятий эта тенденция не проявилась. Важно отметить, что респонденты не использовали очень абстрактные понятия (например, «наука»), если у них был список, и, как правило, добавляли понятия среднего уровня об анализе данных. Этот вывод подтверждается литературой и может быть интерпретирован как преимущество использования концептуальных карт со списком для стандартизированной оценки.

Третья гипотеза (H3) касалась способности студентов критически мыслить о понятиях и их месте в структуре. Для ее проверки одна из фундаментальных концепций не была включена в список, и ожидалось, что студенты все равно будут ее использовать вследствие ее фундаментальности. Без списка учащиеся, как правило, использовали фундаментальные и технические понятия одинаково и помнили и то, и другое. Используя список, они могли упустить важные понятия, даже если использовали их раньше. Возможно, предоставление списка вызывает у учащихся сомнения в своих представлениях, что полезно при использовании концептуальных карт в качестве упражнения на понимание, но бесполезно и даже вредно в случае отсутствия обратной связи по итогам построения карты.

Таким образом, в среднем по отобранным индикаторам концептуальные карты со списком понятий получались более связными, свидетельствовали о более развитой понятийной структуре. Однако анализ содержания показал, что использование списка понятий стимулирует учащихся более тщательно оценивать каждое понятие и его роль во всей структуре. В то же время они уделяют меньше внимания понятиям вне списка.

**Исследовательский вопрос 4: какие индикаторы для оценки понятийной структуры, основанные на сетевом анализе, могут быть разработаны так, чтобы они отвечали теоретическим представлениям о психологии обучения и когнитивного развития?**

Для начала были проанализированы предпосылки из когнитивных теорий и основываясь на их содержании были выдвинуты три основные характеристики развитой понятийной структуры: такая структура обладает высокой емкостью, а сами знания лучше распределяются и их легче извлекать. С применением информационных индексов, которые

изначально были разработаны для изучения извлечения и хранения знаний в больших базах данных (HITS, PageRank, диаметр), были разработаны три комплексных индикатора: емкость сети, распределенность понятий, извлекаемость понятий.

*Емкость* сети  $S$ , как определено в уравнении (1), является нормализованным показателем отношения значений хаб-страниц ( $H$ ) к значениям авторитетных страниц ( $A$ ) узлов. Узлы с высокими значениями статистики авторитетных страниц «хранят» знания, высокие значения статистики хаб-страниц означают, что узлы ссылаются на другие узлы с высоким значением статистики авторитетности. Таким образом, операцию деления можно рассматривать как меру относительной емкости хранилища знаний:

$$S = \frac{H}{A}, \quad (1)$$

где  $H$  обозначает среднее значений статистики хаб-страниц в сети,  $A$  обозначает среднее значений статистики авторитетности. Значение  $S$  может варьироваться от 0 до 1, где  $S=1$  означает сбалансированное хранение, а  $S=0$  означает, что, к наиболее авторитетным узлам не ссылаются узлы-хабы.

*Распределенность понятий*  $D$  описывает, как понятия хранятся в сети. Это показатель, который описывает глобальное или локальное распределение хаб-страниц и разницу между значениями хаб-страниц и авторитетных страниц. Таким образом, это комплексный показатель распределенности и разнообразия роли узлов в сети. Распределенность понятий  $D$  определяется как логарифмическая мера, задаваемая следующим образом:

$$D = \log(T * H(1 - A)), \quad (2)$$

где  $T$  обозначает диаметр сети и, таким образом, является показателем средней протяженности соединений внутри сети. Значение  $H$  обозначает среднее значений хаб-страниц,  $A$  – среднее значение авторитетных страниц. Значение  $D \ll 0$  означает отсутствие разнообразия, вся информация в сети хранится локально, не «циркулирует» по сети. Логарифмическая форма выбрана по практическим соображениям, чтобы обеспечить значения, которые можно легко сравнить.

*Извлекаемость понятий*  $R$  описывает, как легко можно получить понятия из сети, начав с любой из узлов сети. На извлекаемость влияет емкость сети и то, насколько легко можно добраться до данного узла. Для описания этого последнего свойства полезным значением является статистика PageRank. Следовательно, мы определяем  $R$  следующим образом:

$$R = \sqrt{S * P}, \quad (3)$$

где  $S$  это емкость сети, а  $P$  – среднее значение статистики PageRank для всех узлов.

Затем было проведено эмпирическое исследование валидации этих разработанных мер. Для этого было протестировано три группы индикаторов. Во-первых, были проверены традиционные для концептуальных карт индикаторы, направленные на оценку сложности и связности структуры, измеренной через количество понятий и связей между ними. В соответствии со многими другими исследованиями, использовавшими концептуальные карты, в этом исследовании значения таких индикаторов были выше у экспертов, чем у новичков. Тем самым было показано, что группы экспертов и новичков были действительно разными группами и могли достоверно использоваться для проверки других индикаторов из сетевого анализа.

Вторая группа индикаторов была взята из сетевого анализа. Используемые индикаторы связаны с исходящими и входящими связями и их отношениями. Анализ концептуальных карт экспертов продемонстрировал, что их понятийные структуры были

сбалансированы с точки зрения этого соотношения, в то время как понятия в картах новичков чаще получали информацию, чем передавали ее.

Однако наиболее ценные выводы касаются третьей группы индикаторов. Новые комплексные меры (емкость, распределенность и извлекаемость понятий) выявили значительные различия между экспертами и новичками, с более высокими значениями для экспертов. Все эти индикаторы построены таким образом, чтобы измерить структуру целиком и роль отдельных концептов в распространении информации по структуре. Более конкретно, они показывают, как знания распространяются и как легко их можно получить. Даже более важным кажется то, что эти структурные индикаторы были достаточно чувствительными, чтобы продемонстрировать некоторый прогресс для учащихся.

Таким образом, были предложены комплексные меры, которые, с одной стороны, отвечают теоретическим предпосылкам когнитивных теорий о том, что можно считать развитой понятийной структурой, а с другой, обладают хорошей дискриминирующей способностью. Подход, разработанный в этом исследовании, позволяет конвертировать теоретическую модель в эмпирические измеряемые индикаторы.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ**

*Теоретическая значимость* работы заключается во внесении вклада в разработку метода анализа концептуальных карт для оценки понятийной структуры. Так как сетевой анализ обладает широким инструментарием для оценки различных свойств систем со связанными объектами, в настоящем исследовании использованы его возможности для того, чтобы раскрыть потенциал когнитивных теорий для оценки концептуальных карт. Такая оценка крайне актуальна в условиях современного обучения, особенно в русле конструктивизма. Тем самым концептуальные карты выведены из круга инструментов индивидуализированной оценки и поставлены в один ряд со стандартизированными методами.

Кроме того, разработан и введен формализованный подход к оценке понятийной структуры, основанный на сетевом анализе, и учитывающий предпосылки из теорий обучения и развития. Использование трех разработанных комплексных мер (емкость сети, распределенность понятий, извлекаемость понятий) позволяет более полно оценить понятийную структуру и то, как она представлена в концептуальных картах.

Разработанный подход имеет высокий потенциал генерализуемости на разные области знаний. Это связано с тем, что в модели не задаются пороговые значения и не требуются экспертные оценки, что позволяет использовать данный подход в различных областях знаний. Более того, разработанный подход не требует экспертной визуальной проверки концептуальных карт, что уменьшает вероятность субъективного влияния. Однако, несмотря на универсальность подхода, необходимы дальнейшие исследования его возможностей. Настоящая работа является отправной точкой для дальнейших исследований в области оценки понятийной структуры и поможет раскрыть потенциал данной методологии. Например, инструментарий концептуальных карт может быть использован для того, чтобы анализировать, как развиваются ключевые (или фундаментальные) предметные или межпредметные понятия в ходе обучения; зависит ли размер и свойства понятийной структуры от области знаний; какие вложенные структуры можно увидеть внутри каждой области и многие другие вопросы, которые требуют наличия измерительного подхода к понятийной структуре.

*Практическая значимость* работы заключается в возможности применения разработанного подхода для изучения и оценки комплексного освоения учебного материала обучающимися в различных областях знаний, например, в области математики, физики, биологии и т.д. Возможно создание автоматизированных инструментов, которые могут

быть использованы исследователями образования или практиками для мониторинга прогресса учащихся.

Несмотря на то, что результаты работы имеют значительный потенциал в области изучения и оценки комплексного освоения учебного материала, данная тема нуждается в дальнейшем исследовании и развитии. В частности, необходимо продолжать исследования, чтобы улучшить и автоматизировать методику оценки и привести ее к более высокому уровню точности. Также необходимо учитывать разные типы и форматы задания на построение концептуальных карт, а также различия в применении разработанного подхода для итогового (саммативного) и формирующего оценивания.

## **ПОЛОЖЕНИЯ, ВНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ**

На защиту выносятся следующие **положения**:

1. Потенциал когнитивных теорий и теорий когнитивного развития не используется в исследованиях понятийной структуры с помощью концептуальных карт, хотя возможности сетевого анализа позволяют его реализовать.

2. Существуют валидные количественные индикаторы оценки понятийной структуры с помощью концептуальных карт, основанные на элементах сетевого анализа и демонстрирующие различительную способность этих индикаторов в отношении новичков и экспертов в определенной области знаний.

3. Задание, данное на построение концептуальных карт, является важным фактором в интерпретации результатов, так как наличие заданного списка понятий стимулирует учащихся демонстрировать более высокую связность понятийной структуры.

4. Разработаны и валидизированы комплексные теоретически обоснованные количественные индикаторы для оценки сложности понятийной структуры с помощью концептуальных карт, основанные на методах сетевого анализа, а именно: емкость сети, распределенность понятий, извлекаемость понятий.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, наша проверка того, как исследователи используют возможности когнитивных теорий и теорий когнитивного развития для понимания и оценки понятийной структуры у учащихся, показала, что в подавляющем большинстве случаев потенциал этих теорий не используется в исследованиях концептуальных карт, где применяется сетевой анализ. Тем не менее, количественные индикаторы из сетевого анализа показывают свою критериальную валидность в дифференцировании концептуальных карт новичков и экспертов.

В ходе валидизации количественного подхода к оценке понятийной структуры мы сформулировали следующие рекомендации и предложения для дальнейших исследований с использованием концептуальных карт:

1. Количество узлов сети само по себе не является характеристикой развитости понятийной структуры, поэтому не следует его использовать как самостоятельный или единственный параметр.

2. Важной характеристикой понятийной структуры является связность сети, которая и должна являться предметом оценки. Это возможно оценивать через отношение концептов и связей в самом простом варианте, и через разработанные нами комплексные индикаторы: емкость сети, распределенность понятий, извлекаемость понятий.

3. При использовании концептуальных карт для оценки понятийной структуры необходимо учитывать различия в типах инструкций, так как при использовании списка понятий учащиеся демонстрируют тенденцию показывать более высокую связность.

Как уже упоминалось ранее, преимущества холистического подхода к оцениванию результатов построения учащимися концептуальных карт заключаются в его способности оценивать качество структуры в целом, тогда как количественный подход позволяет проводить более объективную оценку. Разработанные в данном исследовании рекомендации позволяют преодолеть разрыв между этими двумя подходами. Стоит отметить, что мы выбирали и разрабатывали наши меры, руководствуясь теоретическими представлениями о развитии понятийной структуры и некоторыми предыдущими экспериментальными результатами. Это обоснование делает наши меры более интерпретируемыми с психологической точки зрения.

Теория Л.С. Выготского представляется нам перспективной для планирования дальнейшей работы по анализу понятийной структуры с помощью концептуальных карт. Л.С. Выготский предполагал, что развитие научных понятий идет в направлении осознания предмета, в отличие от развития житейских понятий, которые развиваются от осознания отдельных явлений до понимания абстрактного значения понятия. Зрелость понятия, как отмечает Л.С. Выготский, проявляется в его логической связи с другими понятиями и включении его в иерархическую систему других понятий разного уровня обобщенности. Возможно, метод концептуальных карт также может быть использован для эмпирической поддержки самой теории.

При том, что Л.С. Выготский и многие другие авторы, изучавшие усвоение или применение понятий, работали в основном со школьниками и рассматривали возрастные особенности этого усвоения, нам кажется возможным перенос их теоретических предпосылок на взрослых обучающихся (в нашем случае – студентов магистратуры). Во-первых, исторически широкий интерес к образованию взрослых и его особенностям возник только в 21 веке с развитием концепции «обучения на протяжении всей жизни» (*«lifelong learning»*), и в основном этим, а не принципиальными противоречиями в особенностях усвоения понятий в ходе формального образования подростков, детей и взрослых, объясняется фокус предыдущих исследований. Во-вторых, даже в данный момент нет убедительных доказательств, что у взрослых эти процессы устроены по-другому: известно, что различаются мотивационная структура, способности к обучению, регуляция внимания и т.д., но сам принцип «овладения» понятий пока кажется идентичным (по крайней мере, пока мы не получили иных доказательств).

Отметим **ограничения** данного исследования. Во-первых, гомогенность и относительная малочисленность выборки. Как и во многих психологических исследованиях, выборкой выступали студенты одного университета. Несмотря на то, что в дизайне были по возможности нивелированы эффекты этой гомогенности (сравнивались друг с другом; эксперты были из той же среды; первокурсники магистратуры с разным опытом обучения в бакалавриате), необходимо проверить разработанную методологию и на других, больших выборках. Тем не менее, достаточно большое количество глубоких, погруженных исследований концептуальных карт были проведены на небольших выборках, например,  $n=19$  (Frerichs и др., 2018),  $n=3$  (Lavigne, 2005). Во-вторых, была использована весьма специфичная область знаний, которая также может определенным образом сместить результаты и их интерпретацию. В частности, эта область предполагает использование математических методов и инструментов, что может порождать у студентов в процессе освоения фиксацию на понятиях, относящихся к процедурным знаниям (например, разновидности t-теста или ПО для работы с данными). В то же время такая тенденция может не наблюдаться для, например, основных идей в философии образования.

Таким образом, проверка внешней валидности сделанных выводов и разработанных методов является необходимым направлением будущих исследований. Помимо работы с другими выборками, важно проверить их функционирование в различных областях наук, а также для различных возрастных категорий. Также интересным направлением

представляется установление пороговых значений разработанных и прочих стандартизированных мер, а также унификация и разработка программного обеспечения для автоматизированного подсчета результатов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выготский, Л. С. (1999). *Мышление и речь* (5-е изд.). Лабиринт.
2. Гальперин, П. Я. (2010). О формировании умственных действий и понятий. *Культурно-историческая психология*, 6(3), 111-114.
3. Давыдов, В. В., Зинченко, В. П. (1998). Предметная деятельность и онтогенез познания. *Вопросы психологии*, 5, 11-14.
4. Ильенков, Э. В. (1964). Школа должна учить мыслить! *Народное образование*, 1, 1-16.
5. Исаев, Е. И., Марголис, А. А., Сафронова, М. А. (2021). Методика развития исходных математических и естественно-научных представлений обучающихся до научных понятий в начальной школе. *Психологическая наука и образование*, 26(6), 25-45. <https://doi.org/10.17759/pse.2021260602>
6. Капуза, А. В., & Тюменева, Ю. А. (2023). Придавая смысл: Психологические теории для интерпретации концептуальных карт. *Мир психологии*, 112(1), 132-143. [https://doi.org/10.51944/20738528\\_2023\\_1\\_132](https://doi.org/10.51944/20738528_2023_1_132)
7. Талызина, Н. Ф., Володарская, И. А., Буткин, Г. А. (2019). Усвоение научных понятий в школе: учебное пособие. Москва, Издательство Юрайт, 87 с.
8. Тюменева, Ю. А., Капуза, А. В., Вергелес, К. П. (2017). Различительная способность концептуальных карт для оценки уровня компетенции. Пилотное исследование. *Вопросы образования*, 4, 150-170. <https://doi.org/10.17323/1814-9545-2017-4-150-170>
9. Anderson, J. R. (1996). ACT: A simple theory of complex cognition. *American Psychologist*, 51(4), 355-365. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.51.4.355>
10. Anderson, J. R. (2015). *Cognitive psychology and its implications* (8. ed). Worth.
11. Anderson, J. R., & Bower, G. H. (1974). A propositional theory of recognition memory. *Memory & Cognition*, 2(3), 406-412. <https://doi.org/10.3758/BF03196896>
12. Anderson, R. C., & Pearson, P. D. (1984). A schema-theoretic view of basic processes in reading comprehension. В *Handbook of reading research* (Т. 1, сс. 255-291).
13. Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1978). *Educational psychology: A cognitive view*. Holt, Rinehart and Winston.
14. Barsalou, L. W. (1983). Ad hoc categories. *Memory & Cognition*, 11(3), 211-227. <https://doi.org/10.3758/BF03196968>
15. Chi, M. T. H. (2011). Theoretical Perspectives, Methodological Approaches, and Trends in the Study of Expertise. В Y. Li & G. Kaiser (Ред.), *Expertise in Mathematics Instruction* (сс. 17-39). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7707-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7707-6_2)
16. Chi, M. T. H., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices\*. *Cognitive Science*, 5(2), 121-152. [https://doi.org/10.1207/s15516709cog0502\\_2](https://doi.org/10.1207/s15516709cog0502_2)
17. Cicuto, C. A. T., & Correia, P. R. M. (2013). Concept mapping and the use of compulsory concept to make diagnostic assessment of students' knowledge. *Journal of Science Education*, 14(SPEC. ISSUE), 23-28. Scopus.
18. Collins, A. M., & Quillian, M. R. (1969). Retrieval time from semantic memory. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 8(2), 240-247. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(69\)80069-1](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(69)80069-1)
19. Conran, J., Conradsson, D., Wikmar, L. N., & Rowe, M. (2017). Structured feedback on students concept maps: The proverbial path to learning? *BMC Medical Education; London*, 17. <http://dx.doi.org/10.1186/s12909-017-0930-3>
20. Cook, L. J. (2017). *Using Concept Maps to Monitor Knowledge Structure Changes in a Science Classroom* [Western Michigan University]. <http://scholarworks.wmich.edu/dissertations/3139>
21. Ericsson, K. A., Patel, V., & Kintsch, W. (2000). How experts' adaptations to representative task demands account for the expertise effect in memory recall: Comment on Vicente and Wang (1998). *Psychological Review*, 107(3), 578-592. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.107.3.578>

22. Estrada, E. (2016). *The structure of complex networks: Theory and applications*. Oxford University Press.
23. Frerichs, L., Young, T. L., Dave, G., Stith, D., Corbie-Smith, G., & Hassmiller Lich, K. (2018). Mind maps and network analysis to evaluate conceptualization of complex issues: A case example evaluating systems science workshops for childhood obesity prevention. *Evaluation and Program Planning*, 68, 135–147. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2018.03.003>
24. Gkevrou, M., & Stamovlasis, D. (2022). Illustration of a Software-Aided Content Analysis Methodology Applied to Educational Research. *Education Sciences*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/educsci12050328>
25. Goldman, A. W., & Kane, M. (2014). Concept mapping and network analysis: An analytic approach to measure ties among constructs. *Evaluation and Program Planning*, 47, 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2014.06.005>
26. Gouli, E., Gogoulou, A., & Grigoriadou, M. (2003). A Coherent and Integrated Framework Using Concept Maps for Various Educational Assessment Functions. *Journal of Information Technology Education: Research*, 2, 215–240. <https://doi.org/10.28945/324>
27. Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011–1026. <https://doi.org/10.1080/095006900416884>
28. Ifenthaler, D. (2011). Identifying cross-domain distinguishing features of cognitive structure. *Educational Technology Research and Development*, 59(6), 817–840. <https://doi.org/10.1007/s11423-011-9207-4>
29. Jamieson, P. (2012). Using modern graph analysis techniques on mind maps to help quantify learning. *2012 Frontiers in Education Conference Proceedings*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/FIE.2012.6462222>
30. Johnstone, A., & Otis, K. (2006). Concept mapping in problem based learning: A cautionary tale. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 7. <https://doi.org/10.1039/B5RP90017D>
31. Kapuza, A. (2020). How concept maps with and without a list of concepts differ: The case of statistics. *Education Sciences*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/educsci10040091>
32. Kapuza, A., Koponen, I. T., & Tyumeneva, Y. (2020). 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*, 51(6), 2573–2590. <https://doi.org/10.1111/bjet.12938>
33. Kim, M. (2013). Concept map engineering: Methods and tools based on the semantic relation approach. *Educational Technology Research and Development*, 61(6), 951–978. <https://doi.org/10.1007/s11423-013-9316-3>
34. Kinchin, I. M. (2014). Concept Mapping as a Learning Tool in Higher Education: A Critical Analysis of Recent Reviews. *The Journal of Continuing Higher Education*, 62(1), 39–49. <https://doi.org/10.1080/07377363.2014.872011>
35. Kinchin, I. M., Hay, D. B., & Adams, A. (2000). How a qualitative approach to concept map analysis can be used to aid learning by illustrating patterns of conceptual development. *Educational Research*, 42(1), 43–57. <https://doi.org/10.1080/001318800363908>
36. Koponen, I., & Nousiainen, M. (2013). Pre-service physics teachers' understanding of the relational structure of physics concepts: Organising subject contents for purposes of teaching. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 11(2), 325–357. <https://doi.org/10.1007/s10763-012-9337-0>
37. Koponen, I. T., & Nousiainen, M. (2018). Concept networks of students' knowledge of relationships between physics concepts: Finding key concepts and their epistemic support. *Applied Network Science*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s41109-018-0072-5>
38. Koponen, I. T., & Pehkonen, M. (2010). Entropy and energy in characterizing the organization of concept maps in learning science. *Entropy*, 12(7), 1653–1672. <https://doi.org/10.3390/e12071653>



39. Kruschke, J. K. (1992). ALCOVE: An exemplar-based connectionist model of category learning. *Psychological Review*, 99(1), 22–44. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.99.1.22>
40. Lavigne, N. C. (2005). Mutually Informative Measures of Knowledge: Concept Maps Plus Problem Sorts in Statistics. *Educational Assessment*, 10(1), 39–71. [https://doi.org/10.1207/s15326977ea1001\\_3](https://doi.org/10.1207/s15326977ea1001_3)
41. Mata, A. S. da. (2020). Complex Networks: A Mini-review. *Brazilian Journal of Physics*, 50(5), 658–672. <https://doi.org/10.1007/s13538-020-00772-9>
42. McClure, J. R., Sonak, B., & Suen, H. K. (1999). Concept map assessment of classroom learning: Reliability, validity, and logistical practicality. *Journal of Research in Science Teaching*, 475–492.
43. McLinden, D. (2013). Concept maps as network data: Analysis of a concept map using the methods of social network analysis. *Evaluation and Program Planning*, 36(1), 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2012.05.001>
44. Messick, S. (1995). Validity of psychological assessment: Validation of inferences from persons' responses and performances as scientific inquiry into score meaning. *American Psychologist*, 50(9), 741–749. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.50.9.741>
45. Newman, M. (2018). *Networks* (New Edition, Second Edition). Oxford University Press.
46. Newman, M. E. J., & Girvan, M. (2004). Finding and evaluating community structure in networks. *Physical Review E*, 69(2), 026113. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.69.026113>
47. Norman, D. A., & Rumelhart, D. E. (1975). *Explorations in cognition*. W. H. Freeman.
48. Novak, J. D. (1977). *A theory of education*. Cornell University Press.
49. Novak, J. D. (1990). Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 937–949. <https://doi.org/10.1002/tea.3660271003>
50. Novak, J. D., & Gowin, B. (1999). *Learning how to learn* (reprinted). Cambridge Univ. Press.
51. Novak, J. D., & Musonda, D. (1991). A twelve-year longitudinal study of science concept learning. *American Educational Research Journal*, 28(1), 117–153.
52. Özdemir, G., & Clark, D. B. (2007). An Overview of Conceptual Change Theories. *Conceptual Change*, 11.
53. Paivio, A. (1974). Language and Knowledge of the World. *Educational Researcher*, 3(9), 5–12. <https://doi.org/10.3102/0013189X003009005>
54. Piaget, J. (1964). Part I: Cognitive development in children: Piaget development and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 2(3), 176–186. <https://doi.org/10.1002/tea.3660020306>
55. Richmond, S. S., Defranco, J. F., & Jablolkow, K. (2014). A set of guidelines for the consistent assessment of concept maps. *International Journal of Engineering Education*, 30(5), 1072–1082.
56. Rittle-Johnson, B., & Schneider, M. (2015). Developing Conceptual and Procedural Knowledge of Mathematics. *The Oxford Handbook of Numerical Cognition*. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199642342.013.014>
57. Ruiz-Primo, M. A. (2004). Examining concept maps as an assessment tool. *Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping*, 1, 555–562. <http://cmc.ihmc.us/papers/cmc2004-036.pdf>
58. Ruiz-Primo, M. A., Schultz, S. E., Li, M., & Shavelson, R. J. (2001). Comparison of the reliability and validity of scores from two concept-mapping techniques. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(2), 260–278.
59. Ruiz-Primo, M. A., & Shavelson, R. J. (1996). Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. *Journal of research in science teaching*, 33(6), 569–600.
60. Rumelhart, D. E. (1978). *Schemata: The Building Blocks of Cognition*. Center for Human Information Processing, University of California, San Diego.
61. Siew, C. S. Q. (2018). Using network science to analyze concept maps of psychology

- undergraduates. *Applied Cognitive Psychology*, 0(0). <https://doi.org/10.1002/acp.3484>
62. Siew, C. S. Q. (2019). Using network science to analyze concept maps of psychology undergraduates. *Applied Cognitive Psychology*, 33(4), 662–668. <https://doi.org/10.1002/acp.3484>
  63. Sloutsky, V. S., & Yarlas, A. S. (2000). Problem Representation in Experts and Novices: Part 2. Underlying Processing Mechanisms. *In*, 475–480.
  64. Stockwell, P., Smith, A. E., & Wiles, J. (2009). Displaying a Framework in a Concept Map Using Network Graph Techniques. *2009 13th International Conference Information Visualisation*, 661–666. <https://doi.org/10.1109/IV.2009.36>
  65. Stoddart, T., Abrams, R., Gasper, E., & Canaday, D. (2000). Concept maps as assessment in science inquiry learning—A report of methodology. *International Journal of Science Education*, 22(12), 1221–1246. <https://doi.org/10.1080/095006900750036235>
  66. Strautmane, M. (2012). *CONCEPT MAP-BASED KNOWLEDGE ASSESSMENT TASKS AND THEIR SCORING CRITERIA: AN OVERVIEW*.
  67. Stylianou, D. A. (2002). On the interaction of visualization and analysis: The negotiation of a visual representation in expert problem solving. *The Journal of Mathematical Behavior*, 21(3), 303–317. [https://doi.org/10.1016/S0732-3123\(02\)00131-1](https://doi.org/10.1016/S0732-3123(02)00131-1)
  68. Sun, J., & Qu, Z. (2015). Understanding health information technology adoption: A synthesis of literature from an activity perspective. *Information Systems Frontiers*, 17(5), 1177–1190. <https://doi.org/10.1007/s10796-014-9497-2>
  69. Thurn, C. M., Hänger, B., & Kokkonen, T. (2020). Concept Mapping in Magnetism and Electrostatics: Core Concepts and Development over Time. *Education Sciences*, 10(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/educsci10050129>
  70. Walker, J. M. T., & King, P. H. (2003). Concept mapping as a form of student assessment and instruction in the domain of bioengineering. *Journal of Engineering Education*, 92(2), 167–178. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2003.tb00755.x>
  71. Wallace, J. D., & Mintzes, J. J. (1990). The concept map as a research tool: Exploring conceptual change in biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 1033–1052. <https://doi.org/10.1002/tea.3660271010>
  72. Watson, M. K., Pelkey, J., Noyes, C. R., & Rodgers, M. O. (2016). Assessing Conceptual Knowledge Using Three Concept Map Scoring Methods. *Journal of Engineering Education*, 105(1), 118–146. <https://doi.org/10.1002/jee.20111>
  73. Wilson, J. M. (1998). Differences in knowledge networks about acids and bases of year-12, undergraduate and postgraduate chemistry students. *Research in Science Education*, 28(4), 429–446. <https://doi.org/10.1007/BF02461508>
  74. Yin, Y., Vanides, J., Ruiz-Primo, M. A., Ayala, C. C., & Shavelson, R. J. (2005). Comparison of two concept-mapping techniques: Implications for scoring, interpretation, and use. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(2), 166–184. <https://doi.org/10.1002/tea.20049>
  75. Zouaq, A., Gasevic, D., & Hatala, M. (2011). Ontologizing concept maps using graph theory. *Proceedings of the 2011 ACM Symposium on Applied Computing - SAC '11*, 1687. <https://doi.org/10.1145/1982185.1982537>