



Российская академия наук  
Институт прикладной физики РАН  
Межрегиональная ассоциация когнитивных исследований  
Российская ассоциация нейроинформатики  
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского  
Национальный исследовательский университет ВШЭ  
Сургутский государственный университет ХМАО-Югры  
Нижегородская государственная медицинская академия  
ЗАО «Нижегородское агентство наукоемких технологий»

# **НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА В КОГНИТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ – 2015**

**ТРУДЫ  
IV ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

Нижегород  
ИПФ РАН  
2015

## Программный комитет конференции

### *Председатель:*

**Анохин Константин Владимирович** (НИЦ «Курчатовский институт», ИНФ им. П.К. Анохина, Москва)

### *Заместители председателя:*

**Александров Юрий Иосифович** (Институт психологии РАН, Москва)

**Сергеев Александр Михайлович** (ИПФ РАН, Н. Новгород)

**Черниговская Татьяна Владимировна** (СПГУ, Санкт-Петербург, НИЦ «Курчатовский институт», Москва)

### *Члены программного комитета:*

**Антонец Владимир Александрович** (ННГУ, ИПФ РАН, Н. Новгород)

**Величковский Борис Митрофанович** (НИЦ «Курчатовский институт», Москва)

**Гурбатов Сергей Николаевич** (ННГУ, Н. Новгород)

**Григорьева Вера Наумовна** (НГМА, Н. Новгород)

**Дорожкин Александр Михайлович** (ННГУ, Н. Новгород)

**Дунин-Барковский Виталий Львович** (ЦОНТ НИИСИ РАН, Москва)

**Жданов Александр Аркадьевич** (ИТМиВТ РАН, Москва)

**Еськов Валерий Матвеевич** (СурГУ ХМАО-Югры, Сургут)

**Иваницкий Алексей Михайлович** (ИВНДиНФ РАН, Москва)

**Казанцев Виктор Борисович** (ННГУ, Н. Новгород)

**Кибрик Андрей Александрович** (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва)

**Крылов Андрей Константинович** (Институт психологии РАН, Москва)

**Подладчиков Любовь Николаевна** (НИИ НК ЮФУ, Ростов-на-Дону)

**Полевая Софья Александровна** (ННГУ, НГМА, Н. Новгород)

**Парин Сергей Борисович** (ННГУ, Н. Новгород)

**Ратушняк Александр Савельевич** (КТИ ВТ СО РАН, Новосибирск)

**Редько Владимир Георгиевич** (ЦОНТ НИИСИ РАН, Москва)

**Станкевич Лев Александрович** (СПИИ РАН, Санкт-Петербург)

**Самарин Анатолий Иванович** (НИИ НК ЮФУ, Ростов-на-Дону)

**Филатова Ольга Евгеньевна** (СурГУ ХМАО-Югры, Сургут)

**Чернавский Дмитрий Сергеевич** (ФИ РАН, Москва)

**Чернавская Ольга Дмитриевна** (ФИ РАН, Москва)

**Шахов Борис Евгеньевич** (НГМА, Н. Новгород)

**Щербаков Виталий Иванович** (НГПУ им. К. Минина, Н. Новгород)

**Яхно Владимир Григорьевич** (ИПФ РАН, Н. Новгород)

## *Оргкомитет конференции*

**Сергеев Александр Михайлович** (ИПФ РАН, Н. Новгород) – *председатель*

**Яхно Владимир Григорьевич** (ИПФ РАН, Н. Новгород) – *зам. председателя*

**Парин Сергей Борисович** (ННГУ, Н. Новгород) – *зам. председателя*

**Нуйдель Ирина Владимировна** (ИПФ РАН, Н. Новгород) – *ученый секретарь*

**Антонец Владимир Александрович** (ННГУ, ИПФ РАН, Н. Новгород)

**Беллюстин Николай Сергеевич** (НИРФИ, Н. Новгород)

**Баевский Юрий Евгеньевич** (НИУ ВШЭ, Н. Новгород)

**Воловик Михаил Григорьевич** (НижНИИТиО Минздравсоцразвития, Н. Новгород)

**Казанцев Виктор Борисович** (ННГУ, Н. Новгород)

**Ковальчук Андрей Викторович** (ИПФ РАН, Н. Новгород)

**Полевая Софья Александровна** (ННГУ, НГМА, Н. Новгород)

**Соколов Максим Евгеньевич** (ИПФ РАН, Н. Новгород)

**Тельных Александр Александрович** (ИПФ РАН, Н. Новгород)

**Шемагина Ольга Владимировна** (ИПФ РАН, Н. Новгород)

### Редакционная коллегия:

*В.А. Антонец, Н.Н. Кралина, И.В. Нуйдель, С.Б. Парин, С.А. Полевая, А.М. Сергеев, В.Г. Яхно*

Конференция организована при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований  
(грант № 15-02-20274, договор № Ор 15-02-20274\15 от 08.04.2015)

Электронный адрес оргкомитета: [nuidel@appl.sci-nnov.ru](mailto:nuidel@appl.sci-nnov.ru)  
Веб-сайт конференции: <http://www.nd-cogsci.iapras.ru/2015/>

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Предисловие</i> .....	6
<i>Аверкина Л.А.</i> Дискурс как социальная деятельность .....	9
<i>Александров И.О., Максимова Н.Е.</i> Оценка согласованности гетерохронных процессов дифференциации различных составляющих структуры знания .....	12
<i>Алексеев А.К.</i> О ценной информации в задачах усвоения данных наблюдений .....	16
<i>Антонец В.А., Яхно В.Г.</i> Методологические проблемы интеграции гуманитарных и естественно-научных подходов в изучении процессов мышления .....	19
<i>Антонец В.А., Алешин К.Н., Харитонов А.А., Чевачин А.А.</i> Фонетика речи: акустико-моторная динамическая система? .....	23
<i>Бахчина А.В., Серова М.С., Синеокова Т.Н., Буланов Н.А., Полевая С.А.</i> Билингвальный тест Струпа как способ отображения лингвистических функций мозга .....	27
<i>Бахчина А.В., Демарева В.А., Синеокова Т.Н.</i> Поиск вегетативных коррелятов лингвистических характеристик устной речи на материале диалогов на иностранном языке студентов языкового вуза .....	30
<i>Бахшиев А.В., Смольников Б.А., Леонтьев В.А., Гунделах Ф.В., Мусиенко П.Е.</i> Разработка и моделирование внешней системы поддержания динамической устойчивости человека с нарушением функции поддержания равновесия .....	33
<i>Беллюстин Н.С., Савельев В.Ю., Сизов Ю.А.</i> О закономерностях эволюционной динамики систем, формирующих когнитивные элементы .....	37
<i>Белоусов К.И.</i> Когнитивное моделирование исследовательской деятельности научных коллективов .....	39
<i>Берестин Д.К., Шакирова Л.С., Романчук А.Л., Козлов А.С., Черников Н.А.</i> Квазиаттракторы морфометрических параметров организма человека как пример эволюции complexity .....	41
<i>Бронфельд Г.Б.</i> Сохранение, передача и использование знаний на основе технологии «прямого наложения знаний» .....	45
<i>Великова С.</i> Оптимизация когнитивной нейротерапии при помощи электроэнцефалографии .....	48
<i>Витяев Е.Е.</i> Обнаружение «естественных» понятий .....	51
<i>Вохмина Ю.В., Еськов В.В., Горбунов Д.В., Шадрин Г.А.</i> Хаотическая динамика параметров электроэнцефалограмм .....	55
<i>Гай В.Е., Утробин В.А.</i> Информационная модель слухового восприятия .....	58
<i>Голубев А.М., Дорошева Е.А.</i> Модификация метода мотивационных индукторов Ж. Ньютона .....	61
<i>Громов К.Н., Радченко Г.С., Федотчев А.И., Корсакова-Крейн М.Н.</i> ЭЭГ корреляты ступени переориентации тональной схемы в контролируемых музыкальных стимулах и фрагментах классических произведений .....	64
<i>Грубов В.В., Храмов А.Е., Короновский А.А., Ситникова Е.Ю.</i> Перемежаемость в поведении таламо-кортикальных осцилляторных паттернов на ЭЭГ крыс с предрасположенностью к абсанс-эпилепсии .....	68
<i>Дегтерев А.А., Бурцев М.С.</i> Исследование динамики развития спонтанной пачечной активности модели сети нейронов с долговременной синаптической пластичностью .....	71
<i>Дмитриева Л.А., Зорина Д.А., Куперин Ю.А., Мурышкина А.И., Сметанин Н.М.</i> Развитие и применение методов мультифрактального анализа для исследования ЭЭГ в состоянии фона и медитации .....	75
<i>Дмитриева Л.А., Зорина Д.А., Куперин Ю.А., Чепилко С.С.</i> Изучение EMD-разложений сигналов ЭЭГ методом локальных показателей разбегания на реконструированных аттракторах .....	78
<i>Дорожкин А.М.</i> О проблемах, возникающих при попытках интеграции гуманитарных и естественно-научных подходов к изучению когнитивных процессов .....	81
<i>Драницына А.А.</i> О необходимости разработки гипотезы о квантово-механической модели процесса работы полимераз и рибосом при синтезе биополимеров ДНК/РНК и белков .....	83
<i>Евтушенко А.И.</i> Асимптотическое упорядочивание поведения слабосвязанной системы автономных агентов на основе модели зеркальных нейронов .....	86
<i>Еськов В.В., Семез О.Б., Блинов А.В., Эльман К.А.</i> Использование нейроэмуляторов в разрешении неопределенности 1-го типа при анализе кардиоинтервалов .....	91
<i>Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Вохмина Ю.В., Зимин М.И.</i> Параметры квазиаттракторов при анализе нелинейных процессов в генерации биопотенциалов .....	95

<i>Еськов В.М., Даянова Д.Д., Вохмина Ю.В., Пахомов А.А.</i> Влияние вариаций параметров нейросети на стохастическую устойчивость тремора .....	98
<i>Еськов В.М., Хадарцев А.А., Филатова О.Е., Еськов В.В.</i> Хаотическая динамика параметров гомеостаза – особый тип нелинейных систем .....	101
<i>Запара Т.А., Проскура А.Л., Вечкапова С.О., Ратушняк А.С.</i> Нейронные сети и молекулярные системы, контролирующие эффективность межнейронных связей.....	105
<i>Зорина З.А., Смирнова А.А., Обозова Т.А.</i> Сравнительный анализ высших когнитивных способностей птиц: эксперименты в лаборатории и в природе .....	108
<i>Иваницкий Г.А.</i> Информативная ЭЭГ .....	112
<i>Казиминова Е.Д.</i> Подбарьерный переход в аппарате мышления .....	115
<i>Калинина С.Я., Антонец В.А., Григорьева В.Н.</i> Результаты выполнения мануальных тестов на программно-аппаратном комплексе «Hand-tracker» .....	117
<i>Комарова М.В., Комольцев И.Г., Тишкина А.О.</i> Применение многомасштабного корреляционного анализа к обработке электрических сигналов с поверхности мозга животных при исследовании посттравматической эпилепсии .....	119
<i>Королева М.Е., Бахчина А.В., Хоборов С.В., Парин С.Б., Полевая С.А.</i> Вегетативное обеспечение процесса социального взаимодействия в ситуации монолога и диалога .....	123
<i>Корсакова-Крейн М.Н.</i> «Овеществленное» сознание и восприятие музыки .....	125
<i>Крылов А.К.</i> Моделирование динамики научения при формировании и реорганизации навыка.....	129
<i>Левенец Я.В., Пантелеева С.Н., Резникова Ж.И., Рябко Б.Я.</i> Применение нового метода, основанного на колмогоровской сложности, к анализу биологических «текстов» на примере охотничьих стереотипов мелких млекопитающих .....	132
<i>Лобов С.А., Дудник А.В., Виллакорта-Атиенза Х., Макаров В.А.</i> Управление верхней конечностью робота с помощью когнитивной модели, основанной на компактном внутреннем представлении.....	136
<i>Лосик Г.В., Килин С.Я., Кульчицкий В.А.</i> Векторный принцип кодирования в мозге образной информации .....	137
<i>Макаренко Н.Г.</i> Обучение гомологиям из облака точек .....	141
<i>Макаров В.А.</i> Компактное внутреннее представление когнитивных процессов .....	143
<i>Максимова Н.Е., Александров И.О., Турубар Д.С.</i> Топологические свойства семантической сети, представляющей структуру знания: неоднородность и безмасштабность .....	144
<i>Малафеев А.Ю., Дружков К.А.</i> На пути к автоматическому определению интолерантности высказываний в политическом дискурсе и СМИ.....	147
<i>Непомнящих В.А., Осипова Е.А., Панкова Н.А.</i> Спонтанная организация исследовательского поведения рыб.....	149
<i>Николаева Е.И., Вергунов Е.Г., Добрин А.В.</i> Нелинейные методы анализа кардиограммы ребенка, записанной в нейтральном и эмоциональном состояниях .....	152
<i>Никонов Ю.В.</i> О моделировании многослойных сетей коннектома – когнитивной на примере этанол-зависимой функциональной системы.....	155
<i>Нуйдель И.В., Соколов М.Е.</i> Исследование механизмов переходных процессов от режимов нормальной обработки сигналов к режимам эпилептиформной активности.....	159
<i>Павловская М.А., Айдаркин Е.К.</i> Вызванная ритмическая активность мозга человека в условиях сенсорной маскировки .....	163
<i>Парин С.Б.</i> Трехкомпонентная теория механизмов стресса .....	166
<i>Парина И.С.</i> Фразеологизмы: теоретические представления vs. корпусные исследования .....	170
<i>Петухов А.Ю., Полевая С.А.</i> Моделирование динамики информационных образов в социуме методом коммуникативного поля .....	173
<i>Подладчиков Л.Н., Колтунова Т.И., Шапошников Д.Г., Ломакина О.В.</i> Индивидуальные особенности траекторий осмотра эмоционально значимых изображений.....	177
<i>Полевая С.А., Парин С.Б., Некрасова М.М., Елисеев М.Е., Крупа В.В., Шишалов И.С., Еремин Е.В.</i> Картирование острого стресса и стрессогенных событий у водителей в контексте обучения и профессиональной деятельности .....	179
<i>Продиус П.А., Нужица Н.С., Мухина И.В.</i> Нейрофизиологические особенности категоризации конкретных и абстрактных слов с негативным и нейтральным праймом .....	183
<i>Пряхин В.Ф.</i> О мировоззренческих аспектах исследований в области искусственного интеллекта.....	185

<i>Ратушняк А.С., Проскура А.Л., Запара Т.А.</i> Анализ молекулярной структурно-функциональной архитектуры нейрона как базового элемента когнитивных систем .....	187
<i>Рахилина Е.В.</i> Лингвистический эксперимент: in vivo vs. in vitro .....	190
<i>Редько В.Г., Непомнящих В.А., Осипова Е.А., Шарипова Т.А., Бесхлебнова Г.А.</i> Моделирование когнитивных способностей рыб, осваивающих лабиринты .....	191
<i>Редько В.Г.</i> Моделирование когнитивной эволюции – перспективное направление междисциплинарных исследований.....	195
<i>Романова Т.В.</i> Моделирование языкового сознания на основе данных когнитивного эксперимента.....	198
<i>Руннова А.Е., Грубов В.В., Храмов А.Е., Короновский А.А., Куровская М.К.</i> Экспериментальное исследование и моделирование восприятия бистабильных объектов .....	201
<i>Савченко А.В., Милов В.Р.</i> Последовательный иерархический подход в задаче классификации аудиовизуальной информации.....	203
<i>Савченко Л.В.</i> О применении нечетких решений для повышения точности распознавания изолированных слов русского языка.....	207
<i>Савчук Л.В., Полевая С.А., Федотчев А.И., Циркова М.М.</i> Психофизиологические маркеры синдрома дефицита внимания с гиперактивностью у школьников младшего школьного возраста.....	211
<i>Сварник О.Е.</i> Латентные изменения состояния системы памяти о навыке .....	213
<i>Ситникова Е.Ю., Грубов В.В., Короновский А.А., Храмов А.Е.</i> Ритмы головного мозга: абсанс-эпилепсия и сонные веретена.....	216
<i>Созинов А.А., Гринченко Ю.В., Казымаев С.А., Александров Ю.И.</i> Показатели стабильности и динамики мозгового обеспечения нового поведения.....	220
<i>Соколов И.С.</i> Кластерный анализ спонтанной активности нейрональных культур <i>in vitro</i> .....	223
<i>Соколова Е.С., Тельных А.А., Беллюстин Н.С.</i> Исследование динамики конвективных ячеек в атмосфере Земли по независимым критериям анализа радиолокационного изображения.....	225
<i>Твердислов В.А.</i> Хиральный дуализм как системный фактор иерархического структурообразования в биологических системах .....	227
<i>Уфимцева Н.В.</i> Ассоциативная база данных как модель обыденного языкового сознания .....	228
<i>Федотчев А.И., Бондарь А.Т.</i> Механизмы генерации электрической активности мозга, нелинейные взаимодействия ЭЭГ ритмов и регуляция состояний ЦНС.....	230
<i>Филатов М.А., Филатова Д.Ю., Григоренко В.В., Сидоренко Д.А.</i> Теория функциональных систем П.К. Анохина с позиций нелинейной динамики и теории самоорганизующегося хаоса .....	234
<i>Филатов М.А., Поскина Т.Ю., Сидоренко Д.А., Стрельцова Т.В.</i> Моделирование динамики параметров памяти человека в норме и при патологии.....	238
<i>Фортунатов А.Н., Фортунатов Н.М.</i> Искусство как сверхсложная система .....	241
<i>Фортунатова В.А.</i> Концентрированные модели как ресурс реновации гуманитарного знания в современных условиях .....	244
<i>Хапов И.В., Комольцев И.Г., Габова А.В., Кузнецова Г.Д.</i> Анализ частотно-временной динамики эпилептических разрядов разного типа с помощью модифицированного преобразования вейвлет .....	248
<i>Цукерман В.Д., Кулаков С.В., Золотухин В.В.</i> Реляционная эпизодическая память в логдинамическом мозге.....	251
<i>Чеберева О.Н.</i> Архитектура как информация .....	255
<i>Чернавская О.Д., Чернавский Д.С., Никитин А.П., Щепетов Д.С.</i> Естественно-конструктивистский подход к моделированию мышления: интерпретация эмоций в искусственной когнитивной системе.....	259
<i>Чернавский Д.С., Чернавская О.Д., Карп В.П., Никитин А.П.</i> Естественно-конструктивистский подход к моделированию мышления: сопоставление с другими подходами и экспериментом .....	263
<i>Черниговская Т.В., Прокопья В.К.</i> Интерпретация контекста как характеристика нелинейности структуры ментальной грамматики: экспериментальное исследование референции .....	266
<i>Эйнгорин М.Я.</i> К математическим основам памяти живых систем.....	269
<i>Яхно В.Г.</i> Взгляд на теорию управления живыми системами.....	271
Авторский указатель .....	275

# Топологические свойства семантической сети, представляющей структуру знания: неоднородность и безмасштабность

Н.Е. Максимова<sup>1</sup>, И.О. Александров<sup>1</sup>, Д.С. Турубар<sup>2</sup>

Институт психологии РАН, Москва

<sup>2</sup>Высшая школа психологии (институт), Москва

Семантические сети – конструкт, открывающий возможности формального и количественного описания психологических структур [6]. Семантическую сеть можно описать как упорядоченное множество вершин, представляющее конструкты, образующие психологическую структуру, например, значения [6], или сущности из предметной области [5], или компоненты структуры знания (СЗ), которые фиксируют информационные модели взаимодействий индивида с предметной областью [1, 4]. Вершины сети связаны ориентированными дугами, представляющими множество отношений между конструктами. Одно из важнейших свойств семантических сетей – распределение степеней вершин, составляющих сеть, т. е. количества дуг, заходящих в определенную вершину и исходящих из нее [7]. Результаты исследований (см. [8, 9]) позволили утверждать, что для случайно формирующихся сетей характерно распределение степеней вершин по случайному закону, а мода распределения является масштабом данной сети. Предполагалось, что у развивающихся, самоорганизующихся, эволюционирующих сетей степени вершин распределены по степенному закону, они не имеют определенного масштаба, *безмасштабны (scale-free)* [10]. Сопоставление свойств масштабированных и безмасштабных сетей привело к заключению, что последние более устойчивы, избирательны в отношении объединений и включения новых компонентов, могут приобретать фрактальные размерности (см. [8, 9, 10]). Открытым остается вопрос о свойствах масштабированности или безмасштабности неоднородных сетей, образованных различными типами отношений между вершинами [5], качественно различными вершинами, а также сетей, содержащих локальные подсети с особыми свойствами.

Цель данной работы состоит в том, чтобы охарактеризовать свойства психологических структур, формирующихся в процессе приобретения компетенции, которые могут быть описаны как семантические сети, в терминах масштабированности или безмасштабности организации, оценить совместимость безмасштабности и неоднородности семантических сетей, а также масштабированность или безмасштабность качественно специфичных составляющих психологической структуры.

Характеристики организации семантической сети определяли для структуры знания в стратегической игре двух партнеров. СЗ представляет собой множество компонентов, которым соответствуют группы нейронов, специализированных относительно определенных актов игры как циклов взаимодействия с предметной областью и фиксирующих информационные модели этих разнообразных взаимодействий. Компоненты СЗ связаны

отношениями семи типов (см. [1, 2]) в группы – домены (предположительно связанные с семантической игрой), ординарные стратегии, которые в терминах теории графов определяются как простые маршруты, и метастратегии, которые образуются в результате пересечения множеств маршрутов на графе игры. Таким образом, семантическая сеть, описывающая СЗ, неоднородна.

В качестве фактора, определяющего неоднородность сети, рассматривали отношение эквивалентности, связывающее компоненты, дифференцировавшиеся из одного протокомпонента [2] в группы. Компоненты, включенные в такую группу, актуализируются совместно, независимо от того, какому компоненту принадлежит дуга полустепени захода в актуальном маршруте перемещения по сети [1, 2]. Поэтому эти группы следует описывать как единые образования, «псевдовершины», образующиеся при стягивании некоторого множества вершин (см. [3. С. 172]), а сети, содержащие единичные вершины и псевдовершины, – как неоднородные.

Предполагали, что распределения степеней вершин сетей, построенных только из одиночных вершин или включающих также псевдовершины, либо будут аппроксимироваться степенными функциями с разными показателями и одинаковым качеством, либо качество аппроксимации будет меньшим для сетей, неоднородных за счет включения псевдовершин; для ординарных стратегий и метастратегий более правдоподобна одна и та же альтернатива первой гипотезы.

## Методика

В исследовании участвовали 98 человек (56 женщин, 42 мужчины, в возрасте от 16 до 27 лет, медиана возраста 20 лет), которые формировали компетенцию в стратегической игре двух партнеров в «крестики-нолики» на поле 15×15. Каждая пара продолжала игру, пока не совершала 300 ходов (от 11 до 30 игр). Регистрировали координаты ходов на игровом поле. Для каждого испытуемого строили описание СЗ: перечисление компонентов, отношений между ними, групп компонентов, образованных отношениями различного типа [1]. СЗ описывали как неоднородную семантическую сеть [5], используя отношения следования между компонентами, отношения, образующие устойчивые последовательности компонентов (стратегии), отношения, образующие повторные актуализации компонентов (петли и циклы), а также отношения, связывающие группу компонентов, имеющих общего онтогенетического предка (единый для группы протокомпонент).

На семантической сети, описывающей СЗ в целом (всем множестве компонентов и отношений

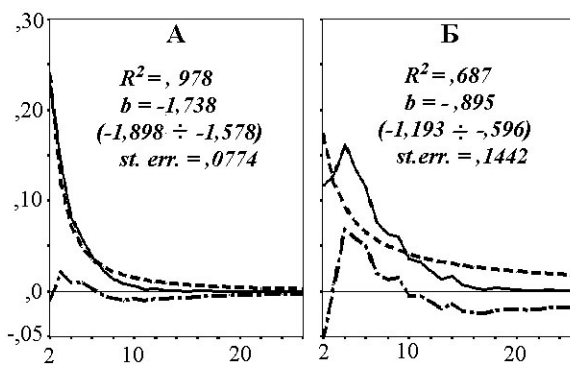
между ними), выделяли связные подмножества вершин со степенями больше единицы. Эти подмножества (сети с вершинами со степенями  $> 1$ ) разделяли на два типа. К первому типу отнесли сети, содержащие единственный маршрут, не имеющих общих вершин с другими маршрутами; их рассматривали как «ординарные стратегии» (ОС), устойчиво воспроизводящиеся в протоколе игр последовательности компонентов («линейные», не включающие петли и циклы, или «циклические», допускающие повторные актуализации компонентов). Второй тип – сети, представляющие метастратегии (МС), которые содержат два или большее количество маршрутов, пересекающихся и имеющих общие вершины. Организацию МС описывали как ориентированный граф в терминах вершин (представляющих компоненты СЗ), дуг с весом  $> 1$  (представляющих отношения, образующие стратегии (см. [1]), простых маршрутов (последовательностей вершин без повторов), петель и циклов [7]. Анализировали организацию графов для совокупной выборки ОС и МС, отдельно для выборок ОС, всей совокупности МС и для максимальных МС (всего 98, по одной для СЗ каждого испытуемого). Критерии определения максимальной МС (в порядке значимости): 1) количество маршрутов, 2) количество пересечений маршрутов, 3) количество петель и циклов, 4) количество вершин.

Для каждого из перечисленных наборов ОС и МС, отдельно для ОС и МС, строили по два варианта семантической сети. В первом варианте неоднородную сеть преобразовывали в однородную, содержащую только простые вершины; для этого псевдовершины расщепляли на простые вершины. Второй вариант описания сети, содержащий два вида вершин – простые и псевдовершины, сохранял свойство неоднородности по разнообразию вершин.

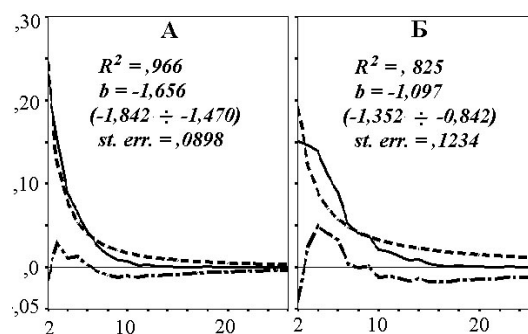
Для каждой ОС и МС, описанных как однородная или неоднородная сеть, строили распределения степеней вершин, аппроксимировали их форму степенной функцией  $f(k) = a \cdot k^b$ . Использовали процедуру нелинейной регрессии (SPSS 11.2). Для сравнения качества моделей применяли величину 95 % доверительного интервала, оценку стандартной ошибки, коэффициент детерминации  $R^2 = 1 - \text{Residual SS} / \text{Corrected SS}$ .

### Результаты и их обсуждение

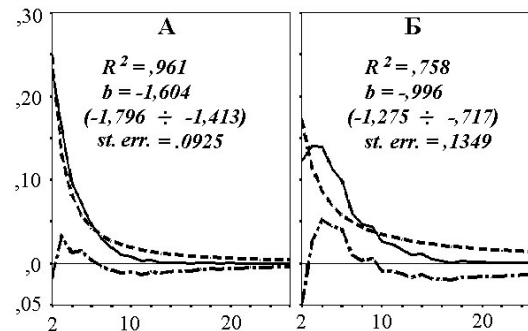
Сопоставление характеристик степенных функций, аппроксимирующих распределения степени вершин для совокупного набора ОС и МС (рис. 1), выборок МС (рис. 2) и максимальных МС (рис. 3), показывает, что соответствие распределения степенному закону определяется достаточно надежно только для преобразования сети в однородную: во всех случаях коэффициент  $R^2$  для аппроксимаций для сетей, описанных как неоднородные образования, ниже, чем для их однородной модификации. Оценки стандартной ошибки (*st. err.*) во всех случаях снижаются при преобразовании сети в однородную (ср. А и Б на рис. 1–4).



**Рис. 1.** Степенные функции для всей выборки метастратегий и ординарных стратегий. А – описание структуры знания как однородной; Б – неоднородной сети. По оси абсцисс – степени вершин, по оси ординат – плотность вероятности распределения степеней вершин. Сплошная линия – эмпирическое распределение; пунктирная – аппроксимирующая функция  $f(k) = a \cdot k^b$ , штрихпунктирная – остатки.  $R^2$  – коэффициент детерминации,  $b$  – оценка показателя степенной функции, в скобках – 95 % доверительный интервал, *st. err.* – оценка стандартной ошибки



**Рис. 2.** Степенные функции для всей выборки метастратегий. Все обозначения, как на рис. 1

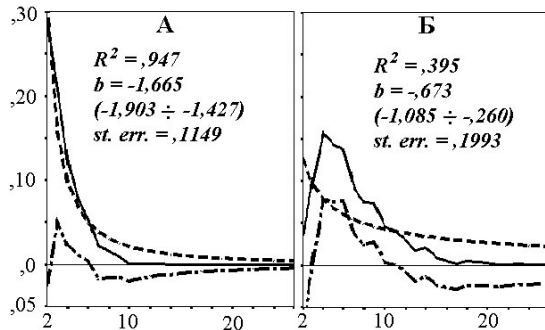


**Рис. 3.** Степенные функции для выборки максимальных метастратегий. Все обозначения, как на рис. 1

Отмеченные соотношения характеристик аппроксимаций наиболее выражены при разделении выборки вершин максимальных метастратегий на одиночные (рис. 4, А) и псевдовершины (рис. 4, Б). Эти распределения описывают не смешанные сети (включающие как одиночные, так и «стянутые», псевдовершины), а искусственно «ректифицированные» подмножества вершин, только одиночных (рис. 4, А) или только псевдовершин (рис. 4, Б). Заметим, что удаление из сети либо одиночных вершин, либо псевдовершин может разрушить вершинную связность сети [3]. Однако анализировали не свойства сетей, возможно утративших вершинную связность после удаления вершин



какого-либо типа, а распределения степеней подмножества вершин и псевдовершин исходного графа. Из всех вариантов аппроксимации распределения степеней вершин рассмотренных неоднородных сетей наибольшее отклонение от степенной функции получено для подмножества псевдовершин (рис. 4, Б; ср. с фрагментами Б на рис. 1, 2, 3).



**Рис. 4.** Степенные функции для выборки максимальных метастратегий: А – только для одиночных вершин, Б – только для псевдовершин. Остальные обозначения, как на рис. 1

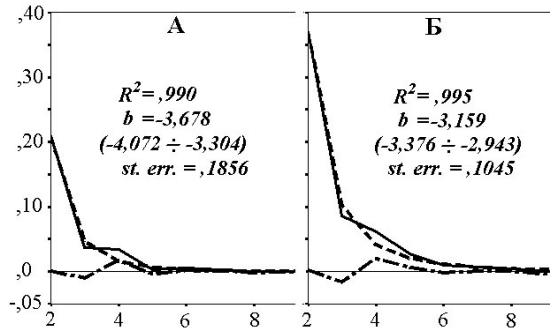
Учитывая значения доверительного интервала для ректифицированной однородной сети, однородность которой достигнута искусственно, через расщепление псевдовершин (см. рис 4, А), значение степени  $b$  не отличается от значений этого коэффициента, полученного для однородных «естественных» сетей (ср. значения показателя степенной функции  $b$  и диапазоны доверительных интервалов на фрагментах А рисунков 1, 2, 3 и 4). Эти значения достоверно снижены относительно величины коэффициента, считающегося типичным для безмасштабных сетей [8]. Тем не менее результаты аппроксимации достаточно надежно характеризуют распределения степеней вершин в однородных сетях как степенные, что позволяет отнести их к классу безмасштабных.

Распределения степеней псевдовершин (фрагменты Б на рис. 1, 2, 3 и 4) не описываются степенными функциями. Это следует из сниженных значений коэффициента  $R^2$ , высоких значений стандартной ошибки и визуально определяемого локального пика распределения, который соответствует степени псевдовершин, равной четырем (см. рис. 3 и 4). На этом основании можно было бы сделать вывод о том, что сети, неоднородность которых определяется включением псевдовершин, не относятся к классу безмасштабных, однако это заключение вступает в противоречие с результатами аппроксимации распределений вершин для ординарных стратегий (см. рис. 5).

Эти результаты показывают, что оригинальная форма распределения степеней вершин и псевдовершин, составляющих ординарные стратегии (рис. 5, Б), достаточно хорошо описывается степенной функцией и не имеет пиков, аналогичных отмеченным на распределениях для метастратегий (рис. 2, 3, 4, фрагменты Б).

Заметим, что показатель степенной функции  $b$  весьма высок – как для оригинального представления ординарных стратегий, включающего псевдовершины (рис. 5, Б), так и при их расщеплении

на одиночные вершины (рис. 5, А), значения показателя степени выходят за пределы  $-3$ .



**Рис. 5.** Степенные функции для всей выборки ординарных стратегий. Показана только начальная часть оси абсцисс. Все обозначения, как на рис. 1

Таким образом, безмасштабность как свойство семантической сети не следует связывать с ее однородностью, по крайней мере с однородностью, определенной отсутствием вершин особой природы (в рассмотренном случае – псевдовершин).

Псевдовершины образуются как при развитии метастратегий, так и при формировании ординарных стратегий. При этом ординарные стратегии формируются как безмасштабные. По-видимому, масштабирование сетей, описывающих метастратегии, можно связать с особой ролью вершин-концентраторов в функционировании метастратегий; с местом, которое занимают в организации метастратегий циклы, а также дуги, образующие петли; со спецификой траекторий эволюции семантической сети.

Рассмотренные характеристики семантических сетей расширяют возможности формального и количественного описания психологических структур, процессов их формирования и сравнения их организации у взаимодействующих индивидов.

Работа выполнена при поддержке РФГНФ, проект № 14-06-00082а.

## Литература

1. Александров И.О. Формирование структуры индивидуального знания. М.: Институт психологии РАН, 2006.
2. Александров И.О., Максимова Н.Е. Процесс дифференциации: содержание концепта и возможности операционализации в психологических исследованиях // Дифференциально-интеграционная теория развития. Кн. 2. М.: Языки славянской культуры, 2014. С. 87–138.
3. Евстигнеев В.А., Касьянов В.Н. Толковый словарь по теории графов в информатике и программировании. Новосибирск: Наука, 1999.
4. Максимова Н.Е., Александров И.О. Компоненты психологического взаимодействия и возможность их операционализации // Человек, субъект, личность в современной психологии: материалы конференции / отв. ред. А.Л. Журавлев, Е.А. Сергиенко. Т. 3. М.: Институт психологии РАН, 2013. С. 161–164.
5. Оситов Г.С. Приобретение знаний интеллектуальными системами. М.: Наука, 1997.
6. Петренко В.Ф. Психосемантика сознания. М.: Изд-во МГУ, 1988.
7. Харари Ф. Теория графов. М.: Мир, 1973.
8. Barabási A.-L. The Architecture of Complexity // IEEE Contr. Syst. 2007. V. 27, № 4. P. 33–42.
9. Barabási A.-L. Scale-Free Networks: A Decade and Beyond // Science. 2009. V. 325. P. 412–413.
10. Dorogovtsev S.N., Mendes J.F.F. Evolution of Networks // Advances in Physics. 2002. V. 51, № 4. P. 1079–1187.