

В.В. Грибова, д.т.н., профессор, gribova@iacp.dvo.ru.

Д.В. Жданов, аспирант, zhdanov.dv@dvfu.ru

Е.Е. Помников, к.т.н., профессор, pomnikov.ee@dvfu.ru

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ КЛАССА ЗАДАЧ РАСЧЕТА НАГРУЗОК НА СТРОИТЕЛЬНЫЙ ОБЪЕКТ

Аннотация: В статье представлена онтологическая модель, формализующая знания, необходимые для расчёта нагрузок на строительный объект по документам СП 20.13330.2016, СП 14.13330.2018 и СП 385.13258.2018. Модель обеспечивает структурированное представление типов нагрузок, их сочетаний, условий применения и нормативных формул, а также связывает их с региональными коэффициентами из смежных нормативов. Разработанная онтология предназначена для поддержки инженерных расчётов и автоматизированной проверки согласованности требований.

Ключевые слова: Онтологическая модель, СП «Нагрузки и воздействия», типизация нагрузок, строительная отрасль, SMART-стандарты.

V.V. Gribova, Dr. Sci. (Tech.), Professor, gribova@iacp.dvo.ru

D.V. Zhdanov, postgraduate student, zhdanov.dv@dvfu.ru

E.E. Pomnikov, PhD, Professor, pomnikov.ee@dvfu.ru

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

ONTOLOGICAL MODEL FOR THE CLASS OF STRUCTURAL LOAD CALCULATION TASKS

Abstract: The article presents an ontological model that formalizes the knowledge required for calculating loads on a building structure according to the documents Code of Practice (CoP) 20.13330.2016, CoP 14.13330.2018, and CoP 385.13258.2018. The model provides a structured representation of load types, their combinations, application conditions, and regulatory formulas, and also links them to regional coefficients from related standards. The developed ontology is designed to support engineering calculations and automated verification of requirement consistency. The paper describes the method used to construct the model and demonstrates its capability to enhance the accuracy and machine-readability of regulatory data.

Key words: Ontological model, load calculation, Codes of Practice, load typology, regional coefficients, requirement consistency checking.

Современная строительная отрасль переживает этап глубокой цифровой трансформации, что усиливает необходимость новых подходов к управлению знаниями и обработке нормативных документов. Увеличение количества ГОСТов, сводов правил и технических стандартов сопровождается ростом сложности, пересечением требований и неоднозначностью формулировок, что усложняет корректное применение норм в инженерной практике [1].

Дополнительные сложности возникают из-за многосубъектности проектного процесса и использования разнородных программных сред. Отсутствие единого цифрового пространства приводит к дублированию данных, несогласованности версий нормативов и затрудняет контроль их актуальности. Это повышает операционные издержки и риск проектных ошибок [1].

Особенно значимы данные вызовы для работы с документом СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» [2], определяющего исходные параметры проектирования и влияющего на выбор материалов, расчёт конструктивных элементов и общую безопасность строительных объектов. Ошибки интерпретации норм или использование устаревших методик могут приводить к серьёзным проектным отклонениям и снижению надёжности. При этом требования множества СП взаимосвязаны, и изменения в одном документе нередко требуют актуализации связанных разделов.

Существующие цифровые инструменты — такие как Техэксперт, КонсультантПлюс, Гарант или NormaCS — обеспечивают поиск и навигацию, но не предоставляют механизмов формального представления структурных взаимосвязей между нормативами [3-6]. Они не решают главной задачи — создания единой машиночитаемой модели, способной поддерживать автоматизированный анализ требований.

Анализ действующей нормативной среды выявляет ключевые проблемы: слабая структурированность текстов, множественность трактовок, необходимость одновременного использования большого числа взаимосвязанных документов и отсутствие формальных методов семантического анализа. Эти факторы затрудняют автоматизированную проверку требований и их интеграцию в цифровые процессы проектирования.

Даже BIM-системы, активно применяемые в проектировании, пока недостаточно интегрированы с нормативной базой: они не интерпретируют положения СП и не связывают параметры объектов с формализованными требованиями. Это ограничивает переход к интеллектуальным цифровым проектным средам нового поколения [7].

Указанные проблемы формируют потребность в методах формализации нормативных данных. Одним из наиболее перспективных подходов является онтологическое моделирование, позволяющее описывать предметную область через сущности, отношения и логические зависимости. Онтология

обеспечивает машинопонимаемое представление требований, уменьшает неоднозначность трактовок и создаёт основу для автоматизированной проверки согласованности норм [8].

В данной работе предлагается подход к построению онтологической модели для задач расчёта нагрузок на строительный объект. Основное внимание уделено формализации требований СП «Нагрузки и воздействия» и связанных документов (СП 20.13330.2016, СП 14.13330.2018, СП 385.132580.2018). Разрабатываемая модель структурирует типы нагрузок, их сочетания, условия применимости расчётных схем, нормативные формулы и связи с региональными коэффициентами. Она предназначена для поддержки инженерных расчётов, автоматизированной проверки согласованности требований и интеграции в цифровые архитектуры проектирования.

Создание такой онтологии является шагом к формированию единого цифрового пространства строительных знаний и развитию технологий машиночитаемых нормативов (SMART-документов), способствующих повышению качества и эффективности проектирования [9].

Используемые подходы для разработки модели

Разработка онтологической модели строительных правил на основе СП «Нагрузки и воздействия» требует применения специализированных методологических и технологических подходов, обеспечивающих формальное, непротиворечивое и машинопонимаемое представление нормативных требований.

Основой для построения онтологии стал системный разбор содержательной структуры СП. На этом этапе применялся метод иерархического контент-анализа, включающий:

- выделение тематических разделов (общие положения, требования, методики расчёта, приложения);
- классификацию типов нагрузок и параметров, влияющих на расчёты;
- идентификацию взаимосвязей между требованиями, формулами, коэффициентами и ограничениями.

Такой подход позволил выделить первичные сущности (например, «временные нагрузки», «постоянные нагрузки», «особые нагрузки» и т.д.), их характеристики и условия применимости.

В качестве базовой методологии формирования онтологии использовались принципы онтологического анализа по Гранту и Грюнбергу и классическая схема инженерии знаний Methontology [10]. Они определяют последовательность действий: от выделения терминов до формализации отношений и построения моделей верхнего уровня.

С их учётом выполнено:

- определение доменных сущностей и их атрибутов;

- выделение отношений типов «занимает значение», «зависит от», «ограничивается», «влияет на», «применяется при»;

- фиксация логических ограничений, отражающих условия применения нормативных требований.

Использовались две формы представления знаний:

1. таксономическая модель — построение иерархий;

2. семантическая модель отношений — фиксация зависимостей между величинами, коэффициентами и контекстными условиями.

Для обеспечения переиспользуемости и устойчивости модели применены онтологические паттерны:

- паттерн классификации для группировки типов нагрузок и воздействий;

- паттерн параметризации для описания числовых характеристик;

- паттерн региональных условий для климатических зон, ветровых районов и др.;

- паттерн нормативных ссылок для описания междокументных зависимостей.

Принципы семантической ясности и недвусмысленности обеспечивали корректную интерпретацию термина в контексте СП. Каждая сущность формировалась таким образом, чтобы исключить вариативность толкования, характерную для текстовых нормативов.

Важной особенностью СП является наличие сложных условий применимости расчётных формул и требований. Поэтому при разработке модели использованы подходы:

- rule-based моделирования — представление условий («если → то»);

- декларативного описания ограничений — фиксация допустимых диапазонов параметров;

- логико-семантического связывания формул и коэффициентов с условиями их выбора.

Этот метод позволил структурировать нормативные зависимости, например, выбор коэффициентов для расчета нагрузки зависит от высоты здания и ветрового района.

Помимо всего прочего, СП 20.13330.2016 содержит ссылки на ГОСТы и другие СП, что потребовало применения подходов межонтологической интеграции:

- фиксация исходных и уточняющих нормативных положений;

- моделирование уровней нормативной иерархии («общие нормы» → «специфические нормы»);

- создание связей типа *refersTo*, *extends*, *isSpecifiedBy*.

Использованы принципы сбалансированной гранулярности, позволяющие:

- поддерживать высокий уровень детализации при необходимости;

- избегать чрезмерного усложнения модели.

Разработанная онтологическая (см. рис. 1) модель основана на системном анализе текста СП «Нагрузки и воздействия» и связанных нормативных документов (СП 14.13330.2018, СП 385.1325800.2018). Анализ позволил выявить ключевые сущности, отношения и логические зависимости, необходимые для формализации знаний, используемых при расчёте нагрузок на строительные объекты.

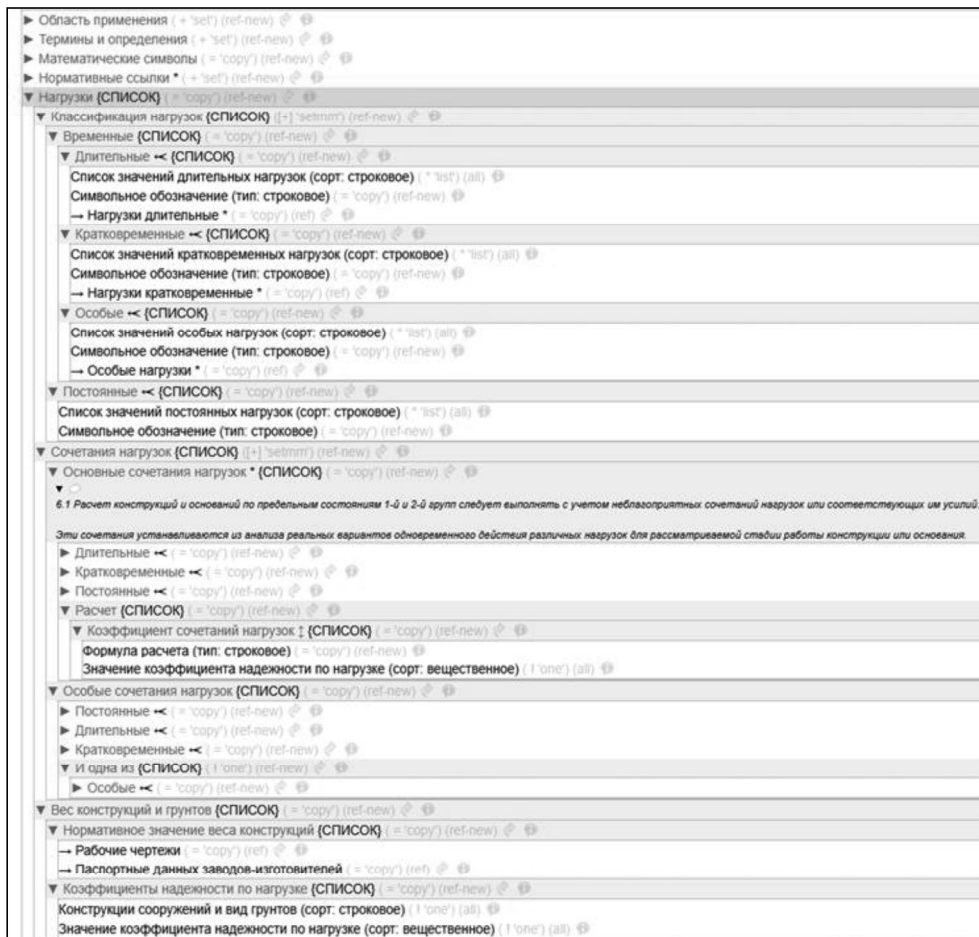


Рис. 1. Онтология СП

Онтология имеет двухуровневую архитектуру [11]:

1. Базовый уровень включает универсальные сущности: типы нагрузок, климатические и региональные параметры, характеристики материалов, общие коэффициенты надежности и сочетаний. Он описывает инвариантную часть предметной области, служащую основой для многократного применения.

2. Предметный уровень соответствует конкретным положениям рассматриваемых СП и детализирует методы расчёта, допустимые значения, ограничения, условия применения и правила сочетания нагрузок.

Оба уровня связаны структурными и терминологическими отношениями, обеспечивающими целостность представления знаний.

На этом (рис. 1) и аналогичном рисунке далее символ $\rightarrow$ отражает структурную связность между орграфами моделей онтологий, а символ $\updownarrow$ — терминологическую связность между вершинами орграфов моделей онтологий, а также между вершинами орграфов целевой информации. Символ $*$, стоящий рядом с меткой вершины, означает, что эта метка заимствуется некоторым множеством вершин. Символ $\Leftarrow$ обозначает тот факт, что в вершину, рядом с меткой которой он отображается, входит более одной дуги. Вершина-начало такой дуги может принадлежать как этому же, так и другому орграфу. Присутствующая в орграфах моделей онтологий разметка типа {СПИСОК}, (= 'copy'), ([=] 'copymm'), (! 'one'), ([!] 'onemm'), (+ 'set'), ([=] 'setmm'), (~'proxy'), (new), (ref), (clone), (all) и т.д. задаёт правила формирования орграфов целевых информационных баз и справочников. Семантика данной разметки, а также основанные на ней правила формирования описаны в [12, 13].

В модель включены все основные компоненты, необходимые для автоматизации нормативных расчётов. Типы нагрузок представлены с детализацией постоянных (вес конструкций и отделки, постоянные технологические нагрузки), временных (кратковременные — снеговые, ветровые; длительные — от оборудования), а также особых (сейсмические, взрывные, аварийные).

Климатические параметры включают снеговые и ветровые районы, температурные воздействия, климатические зоны обледенения и осадков, а также их связь с региональной привязкой.

Конструктивные элементы описываются через материалы, физико-механические характеристики, геометрию, схему работы элемента и условия закрепления.

В онтологии формализованы коэффициенты, применяемые при расчётах: коэффициенты надёжности по нагрузке, коэффициенты сочетаний, поправки на особые условия эксплуатации и параметры, определяющие логические зависимости между нагрузками и характеристиками конструкции. Представлены правила сочетания нагрузок, сценарии применения (нормальная, особая эксплуатация), критические ограничения (допустимые значения нагрузок, предельные деформации), а также временные атрибуты (продолжительность, частота возникновения).

Особое место занимают нормативные формулы и методики, представленные как отдельный класс сущностей с параметрами, типами переменных и условиями применимости.

Для проверки корректности работы описанного решения была сформулирована задача, целью которой — выполнение расчетов устойчивости и напряженно-деформированного состояния на сооружение.

Для расчетов было выбрано купольное здание Z10HL Весовые характеристики которого описаны в таблице 1. Материал конструкции – дерево. Строительство производится в VII климатическом районе.

Таблица 1. Весовые характеристики

Наименование	Вес, кг
Здание без второго этажа	8 700
Балки и настил второго этажа	3 180
ИТОГО	11 880

Фрагмент составленной базы знаний представлен на рисунке 2.

▼ Нормативные ссылки (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Список ГОСТ-ов (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения (тип: строковое) ⚡ (= 'copy') (ref-new) ⓘ
Термины применены согласно ГОСТ 27751 (тип: строковое) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Список СП (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85 (тип: строковое) ⚡ (= 'copy') (ref-new) ⓘ
СП 14.13330.2018 "СНиП II-7-81" Строительство в сейсмических районах" (с изменениями № 2, № 3) (тип: строковое) ⚡ (= 'copy') (ref-new) ⓘ
СП 385.1325800.2018 Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения (с изменениями № 1, № 2, № 3) (тип: строковое) ⚡
СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции (тип: строковое) ⚡ (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Архитектурные решения (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Основные характеристики района строительства (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Снеговой район ⚡ (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
Район VIII (тип: строковое) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85 (тип: строковое) ⚡ (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Сейсмичность ⚡ (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Расчетная сейсмичность района (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
9 (тип: целое) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Категория грунта ⚡ (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
3 (тип: целое) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Расчетная сейсмичность площадки строительства (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
10 (тип: строковое) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
СП 14.13330.2018 "СНиП II-7-81" Строительство в сейсмических районах" (с изменениями № 2, № 3) (тип: строковое) ⚡ (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Основные характеристики здания (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
СП 385.1325800.2018 Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения (с изменениями № 1, № 2, № 3) (тип: строковое) ⚡
ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения (тип: строковое) ⚡ (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Тип объекта (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
Купольное здание Z10HL (тип: строковое) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции (тип: строковое) ⚡ (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Этажность (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Наличие цокольного этажа (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
false (тип: логическое) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
2 (тип: целое) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Весовые данные установки здания Z10 ⚡ (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Здание без второго этажа, кг (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
8700.0 (тип: вещественное) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▶ Балки и настил второго этажа, кг ⚡ (= 'copy') (ref-new) ⓘ
11880.0 (тип: вещественное) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Нагрузки (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Классификация нагрузок (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85 (тип: строковое) ⚡ (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Временные (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Длительные (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
Вес нагрузки на балки пола второго этажа (Load, временное загрузке) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▶ Балки и настил второго этажа, кг ⚡ (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Кратковременные (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Снеговые (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Нормативное значение снеговой нагрузки, п.10 (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ коэффициент сноса снега для купольных зданий (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
0.85 (тип: вещественное) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85 (тип: строковое) ⚡ (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ термический коэффициент (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
1.0 (тип: вещественное) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85 (тип: строковое) ⚡ (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие, принимаемый в соответствии с 10.4 (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ вес снегового покрова на 1 м² (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Район-значение (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▶ Снеговой район ⚡ (= 'copy') (ref-new) ⓘ
5.6 (тип: вещественное) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
кН/м² (тип: строковое) (= 'copy') (ref-new) ⓘ
СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85 (тип: строковое) ⚡ (= 'copy') (ref-new) ⓘ
▼ Расчетное значение (СПИСОК) (= 'copy') (ref-new) ⓘ

Рис. 2. База знаний сформированная на основе онтологии

Корректность расчетов была подтверждена экспертом.

По итогу можно сказать, что полученный на текущий момент результаты работ говорят о том, что выбранный подход анализа нормативной доку-

ментации эффективен и имеет дальнейшие возможности для масштабирования.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИАПУ ДВО РАН (тема № FWW-2021-0004)

Список литературы

1. Горелова О.А. Проблемы технического нормирования в строительстве РФ // Единый реестр застройщиков. URL: <https://erzrf.ru/publikacii/problemy-tekhnicheskogo-normirovaniya-v-stroitelstve-rf> (дата обращения 20.05.2025)
2. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия/ Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85. – М., 2019.
3. Техэксперт — профессиональная справочная система «Техэксперт». URL: <https://xn--e1aaougdegv4f.xn--80aswg/> (дата обращения 26.05.2025).
4. КонсультантПлюс — справочно-правовая система «КонсультантПлюс». URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения 26.05.2025).
5. ГАРАНТ — информационно-правовая система «Гарант». URL: <https://www.garant.ru/> (дата обращения 26.05.2025).
6. NormaCS. «О системе NormaCS — единая база нормативов и стандартов, средства поиска и верификации текстов документов». URL: <https://www.normacs.com/> (дата обращения 26.05.2025).
7. Esetova, A. M., Ismailova, S. T., Emirbekova, D. R., Pavluchenko, E. I., & Yusfova, A. M. Managing the information potential of a construction company in the transition to a digital economy. Revista ESPACIOS. 2019. Vol. 40(14), 28.
8. Li C., Petzold F. Ontology-Driven Mixture-of-Domain Documentation: A Backbone Approach Enabling Question Answering for Additive Construction // Buildings. 2025. T. 15, №1. Статья 133. DOI: 10.3390/buildings15010133.
9. Chetyrkina NYu, Chetyrkina ED, Starodubtseva NYu. Prospects for the Application of Smart Standards at an Industrial Enterprise [In Russian]. Society: Politics, Economics, Law. 2022; (5): 60–65.
10. FERNÁNDEZ-LÓPEZ M, GÓMEZ-PÉREZ A. Overview and analysis of methodologies for building ontologies. The Knowledge Engineering Review. 2002;17(2):129-156. DIO:10.1017/S0269888902000462
11. Biagetti, Maria Teresa. 2021. «Ontologies as knowledge organization systems». Knowledge Organization 48, no. 2: 152-176.
12. Gribova V.V., Kleshchev A.S., Moskalenko F.M., Timchenko V.A. A Two-level Model of Information Units with Complex Structure that Correspond to the Questioning Metaphor // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2015. Vol. 49(5). P. 172-181. DOI: 10.3103/S0005105515050052.
13. Gribova V.V., Kleshchev A.S., Moskalenko F.M., Timchenko V.A. A Model for Generation of Directed Graphs of Information by the Directed Graph of Metainformation for a Two-Level Model of Information Units with a Complex Structure // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2015. Vol. 49(6). P. 221-231. DOI: 10.3103/S0005105515060059.