МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

К.М. Шилихина

ФОРМАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ В ЛИНГВИСТИКЕ

Учебник

Воронеж
Издательский дом ВГУ
2026

УДК 81’33
ББК 81.2–9
Ш57

Р е ц е н з е н т ы :
доктор филологических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной лингвистики *И.А. Меркулова*;
доктор физико-математических наук, профессор кафедры математического и прикладного анализа *И.П. Половинкин*

Шилихина К.М.

Ш57 Формальные модели в лингвистике : учебник / К.М. Шилихина ; Воронежский государственный университет. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2026. – 320 с.

ISBN 978-5-9273-4451-2

Учебник посвящен формальным моделям естественного языка и рассматривает язык как объект строгого научного моделирования. Последовательно излагаются лингвистические, математические и логические основы формального описания фонологии, морфологии, синтаксиса и семантики. Даются примеры практического применения формальных моделей в прикладной лингвистике и современных языковых технологиях.

Издание будет полезно студентам, обучающимся по направлению подготовки 45.03.03 «Фундаментальная и прикладная лингвистика», а также специалистам по прикладной лингвистике и NLP, которым важно понимать теоретические основания формальных моделей языка и осознанно применять их в практической работе.

УДК 81’33
ББК 81.2–9

© Шилихина К.М., 2026
© Воронежский государственный университет, 2026
© Оформление, оригинал-макет. Издательский дом ВГУ, 2026

ISBN 978-5-9273-4451-2

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 7

ЧАСТЬ I. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЛИНГВИСТИКЕ 10

ГЛАВА 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ПОЗНАНИЯ 10
§ 1. Моделирование как исследовательский метод 10
§ 2. Понятие модели в быту и в науке 13
§ 3. Классификации моделей 15
§ 4. Виды информационных моделей 19
§ 5. Правила построения моделей 21
§ 6. Требования к созданию моделей 24
§ 7. Соотношение объекта и модели 25
Контрольные вопросы 26
Практические задания 27

ГЛАВА 2. МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЛИНГВИСТИКЕ 28
§ 1. Термин «модель» в лингвистических исследованиях 28
§ 2. Виды лингвистического моделирования 29
§ 3. Классификации лингвистических моделей 30
§ 4. Практическое применение формальных моделей языка 40
Контрольные вопросы 44
Практические задания 45

ГЛАВА 3. ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ ФОРМАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА 47
§ 1. Формализм и функционализм в лингвистике 47
§ 2. Предпосылки создания формальных моделей языка 52
§ 3. Идеи структурализма как основа формального моделирования естественного языка 56
§ 4. Формальное моделирование в лингвистике во второй половине XX в. 62
Контрольные вопросы 65
Практические задания 66

ГЛАВА 4. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА 68
§ 1. Математические и логические способы представления естественного языка: преимущества и недостатки 68
§ 2. Теория графов 70
§ 3. Теория конечных автоматов 73
§ 4. Формальные языки 76
§ 5. Формальные грамматики. Классификация формальных грамматик 79
§ 6. Признаковые матрицы 84
§ 7. Геометрические и векторные модели 88
§ 8. Теоретико-информационные и вероятностные модели 91
§ 9. Интеграция моделей 94
Контрольные вопросы 95
Практические задания 97

ГЛАВА 5. ЯЗЫКИ ЛОГИКИ В ЛИНГВИСТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ 100
§ 1. Логическое описание как способ формального моделирования естественного языка 100
§ 2. Пропозициональная логика 102
§ 3. Логика первого порядка (логика предикатов) 106
§ 4. Модальная логика 110
Контрольные вопросы 115
Практические задания 116

ЧАСТЬ II. ФОРМАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ ЯЗЫКА 118

ГЛАВА 6. ФОРМАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОНОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ 118
§ 1. Динамическое моделирование фонологических систем 118
§ 2. Генеративная фонология Н. Хомского и М. Халле 119
§ 3. Естественная порождающая фонология Т. Феннеманна 124
§ 4. Лексическая фонология 127
§ 5. Двухуровневая фонология 131

§ 6. Автосегментная фонология 138
§ 7. Геометрия признаков 142
§ 8. Теория неполной спецификации 145
§ 9. Теория оптимальности 148
Контрольные вопросы 156
Практические задания 158

ГЛАВА 7. ФОРМАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА 161
§ 1. Классификации морфологических моделей 161
§ 2. Развитие формальных морфологических моделей 169
§ 3. Просодическая морфология 171
§ 4. Двухуровневая морфология 178
§ 5. Распределенная морфология 184
§ 6. Парадигматическая морфология 192
§ 7. Парадигматическая функциональная морфология 196
§ 8. Сетевая морфология 203
Контрольные вопросы 212
Практические задания 214

ГЛАВА 8. ФОРМАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНТАКСИСА ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА 217
§ 1. Способы представления синтаксической структуры предложения 218
§ 2. Грамматика непосредственно составляющих 219
§ 3. Грамматика зависимостей 223
§ 4. Соотношение грамматики непосредственно составляющих и грамматики зависимостей 227
§ 5. Переход от описательных к объяснительным синтаксическим теориям 231
§ 6. Ранняя версия порождающей грамматики и Стандартная теория 235
§ 7. Расширенная стандартная теория 244
§ 8. Теория управления и связывания 246
§ 9. Минималистская программа 261
§ 10. Вершинная грамматика составляющих 264

§ 11. Основные идеи Лексико-функциональной грамматики Дж. Бреснан и Р. Каплана 267
Контрольные вопросы 276
Практические задания 278

ГЛАВА 9. ФОРМАЛЬНЫЕ СЕМАНТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ 279
§ 1. Формальные лексико-семантические модели 280
§ 2. Теория семантических признаков Дж. Катца и Дж. Фодора 281
§ 3. Двухуровневая семантика 288
§ 4. Генеративный лексикон Дж. Пустейовского 293
§ 5. Проект WordNet 299
§ 6. Формальные модели семантики высказывания 302
§ 7. Репрезентация семантики высказывания: проблема выбора метаязыка семантического описания 304
§ 8. Генеративная семантика 307
§ 9. Модель «Смысл ↔ Текст» 308
Контрольные вопросы 311
Практические задания 313

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 314

ВВЕДЕНИЕ

Этот учебник посвящен одному из ключевых направлений современной теоретической и прикладной лингвистики – формальному моделированию естественного языка. Цель учебника – последовательно и системно познакомить читателя с тем, как язык может быть описан, объяснен и смоделирован с помощью строгих формальных средств: математических, логических и вычислительных. Книга адресована прежде всего студентам-лингвистам, магистрантам и аспирантам, а также всем, кто планирует профессионально работать с языком в прикладных областях – от компьютерной лингвистики и искусственного интеллекта до лексикографии, корпусных исследований и языковых технологий.

Формальное моделирование языка возникло как ответ на фундаментальный вопрос, каким образом человек, обладая конечным набором средств, способен порождать и понимать потенциально бесконечное количество новых высказываний? Поиск ответа на этот вопрос привел лингвистику к необходимости создавать эксплицитные, проверяемые и воспроизводимые модели языковой способности. Формальная модель – это не просто описание языковых фактов, а гипотеза о внутренней организации языка или его отдельного фрагмента как системы. Именно поэтому формальные модели играют двойную роль: с одной стороны, они являются инструментом теоретического анализа, а с другой – основой для практических приложений, в которых язык должен быть представлен в виде алгоритмов, структур данных и правил.

Учебник строится от общего к частному. В первых главах рассматривается моделирование как универсальный метод научного познания и показывается, какое место он занимает в лингвистике. Обсуждаются различия между формальным и функциональным подходами к языку, их сильные и слабые стороны, а также причины, по которым формальные описания остаются необходимыми даже в условиях роста интереса к корпусным и нейросетевым методам. Особое внимание уделяется понятию модели как абстракции: чита-

тель знакомится с тем, какие свойства языка подлежат формализации, а какие принципиально сопротивляются строгому описанию.

Затем излагаются лингвистические основания формального моделирования: свойства языка как знаковой системы, его иерархическая организация, дискретность, рекурсивность и системность. Эти свойства делают язык уникальным объектом, который, с одной стороны, чрезвычайно сложен, а с другой – допускает формальное описание. Параллельно вводятся математические и логические инструменты, без которых невозможно современное моделирование: графы, формальные грамматики, конечные автоматы, вероятностные модели, логические языки и системы вывода. Эти главы не предполагают углубленной математической подготовки, но формируют необходимый понятийный аппарат и показывают, каким образом абстрактные формализмы применяются к конкретным языковым данным.

Центральная часть учебника посвящена формальному моделированию отдельных уровней языковой системы. Фонология представлена как область, в которой особенно наглядно прослеживается переход от статических классификаций к динамическим порождающим моделям. Рассматривается генеративная фонология, автосегментные и иерархические подходы, а также принципиальный сдвиг от правил к ограничениям и принципам гармонии. Морфология анализируется как автономный, но тесно связанный с другими уровнями компонент грамматики; обсуждаются различные типы морфологических моделей и их пригодность для описания языков разных типов.

Особое место занимает глава о синтаксисе, в которой представлены как классические генеративные теории, так и альтернативные декларативные подходы. Читатель знакомится с эволюцией идей Н. Хомского, принципами минималистской программы, а также с лексикалистскими теориями, такими как Вершинная грамматика составляющих (HPSG) и Лексико-функциональная грамматика (LFG). Показано, что формальное моделирование синтаксиса может опираться на разные способы представления структуры

предложения – деревья составляющих, деревья зависимостей, признаковые структуры, – и что выбор формализма зависит от исследовательских и прикладных задач.

Завершающая глава посвящена формальной семантике – наиболее сложной и в то же время наиболее востребованной области моделирования. Рассматриваются различные способы формального представления значения: компонентный анализ, логические модели, генеративная семантика, генеративный лексикон Дж. Пустейовского и семантические сети. Особое внимание уделяется тому, как формальные семантические модели применяются для решения практических задач: снятия многозначности, анализа смысла текста, автоматического вывода знаний и машинного перевода.

Модели, представленные в этом учебнике, имеют прямую практическую ценность для специалиста по прикладной лингвистике. Формальные модели лежат в основе синтаксических и семантических парсеров, систем автоматического анализа и генерации текста, морфологических анализаторов, речевых технологий и интеллектуальных поисковых систем. Понимание принципов формального моделирования позволяет не только использовать готовые инструменты, но и критически оценивать их возможности и ограничения, адаптировать модели под конкретные языки и задачи, а также участвовать в разработке новых языковых технологий.

Наконец, учебник нацелен на формирование у читателя особого типа лингвистического мышления – умения рассматривать язык как формализуемую систему, строить явные гипотезы, проверять их и осознавать границы применимости любой модели. Даже в эпоху больших языковых моделей и нейросетей это умение остается принципиально важным: без теоретического понимания структуры языка невозможно ни интерпретировать результаты работы алгоритмов, ни создавать действительно надежные и объяснимые языковые системы.

Часть I
ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЛИНГВИСТИКЕ

Глава 1
МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ПОЗНАНИЯ

Понятие «модель» широко используется как в повседневной, так и в научной коммуникации, однако оно имеет различный объем в обиходном использовании и в науке.

В науке метод создания моделей с целью изучения свойств объектов, недоступных прямому наблюдению, называется моделированием. Изучая функционирование моделей, ученые распространяют данные о свойствах моделей на моделируемые объекты. В зависимости от целей моделирования исследователи создают модели различных типов, поэтому для одного объекта может быть создано несколько различных моделей.

Чтобы полученная информация была достоверной, модель должна создаваться с учетом определенных требований и правил. Основным требованием к построению модели является адекватность: ее поведение должно соответствовать поведению моделируемого объекта.

§ 1. Моделирование как исследовательский метод

Интерес к окружающему миру, способность и желание исследовать свойства различных объектов и явлений – важнейшее свойство человеческого сознания. Разумеется, животные тоже познают окружающий мир, однако ни один биологический вид, кроме человека, не занимается научным познанием мира. Поэтому можно сказать, что наука – это особая сфера познавательной деятельности человека.

Объектом научного изучения в принципе может стать любой фрагмент окружающего мира, однако для ученых важно не только выбрать объект исследования, но и определить, как именно будут изучаться его свойства. Особенностью научного познания является использование особых научных методов исследования, таких как анализ, синтез, сопоставление и т.д.

Ученые могут исследовать не только те объекты, которые доступны человеку в непосредственном наблюдении, но и такие объекты, свойства которых скрыты от нас. Часто исследователи сталкиваются с объектами и явлениями, которые метафорически называют «черными ящиками»: мы почти ничего не знаем о процессе их функционирования, за исключением того, какая информация имеется «на входе», и какой результат работы имеется «на выходе». Примером такого «черного ящика» может служить мозг переводчика: в непосредственном наблюдении нам доступны только тексты оригинала и перевода, но мы не можем напрямую наблюдать работу мозга переводчика в процессе перевода. О том, что на самом деле происходит в голове переводчика, мы можем судить только косвенно, сравнивая тексты оригинала и перевода.

С проблемой «черного ящика» сталкиваются многие исследователи. Изучением сложных систем со скрытым от наблюдения процессом функционирования занимаются электротехники, физиологи, физики: мы не можем непосредственно наблюдать ни процессов, происходящих в человеческом мозге, ни процессов, протекающих в атомах. Также моделирование широко используется в экономике и социальных науках, поскольку для проведения любых экономических или социальных реформ предварительно требуется спрогнозировать их возможные последствия.

Проблема изучения свойств и процессов работы сложных объектов заключается в том, что «…невозможно разобрать «черный ящик», не нарушив одновременно его функционирования» [Апресян 1966, с. 78]. Поэтому моделирование становится единственным методом изучения такого объекта: на основе сопоставления исходных и конечных данных выдвигается гипотеза о возможном устройстве объекта и затем эта гипотеза воплощается в виде модели – другого объекта, в котором процесс функционирования можно наблюдать напрямую. Таким образом, главная особенность метода моделирования заключается в том, что познание предмета, явления или процесса осуществляется опосредованно, с помощью некоторого *заместителя*.

Моделирование используется и в тех случаях, когда изучение реального объекта слишком дорого или опасно. Например, расчет траектории взлета и посадки самолета гораздо дешевле и безопаснее произвести с помощью уравнений и смоделировать на компьютере, чем запускать в небо настоящий самолет. Также этим методом пользуются в ситуациях, когда изучаемый объект имеет слишком большие или слишком маленькие размеры.

Смысл создания модели заключается в том, чтобы вместо скрытых свойств объекта изучить представленные в явном виде свойства модели, а затем полученную информацию распространить на исходный объект.

Моделирование – многозначный термин. Им принято называть *область знаний*, которая занимается разработкой самих моделей, их классификаций и принципов использования. Кроме того, моделированием называется *научный метод* исследования объектов на основе моделей. В современной науке моделирование считается одним из основных методов познания окружающей действительности.

Моделирование как исследовательский метод долгое время развивалось в рамках различных научный направлений. Постепенно ученые стали осознавать роль моделирования как универсального метода научного познания. Обобщая, мы можем определить *метод моделирования как создание, изучение и применение моделей для получения знаний об объектах и процессах, прямое наблюдение которых либо затруднено, либо в принципе невозможно*.

О моделировании как самостоятельном научном методе заговорили относительно недавно. Дело в том, что на ранних этапах развития любой науки метод моделирования не используется, поскольку имеется слишком мало сведений о свойствах изучаемых объектов. Однако рано или поздно обнаруживается, что новые знания о свойствах целого или его частей не имеют достаточной объяснительной силы. Тогда исследователи переключаются на поиск закономерностей и взаимосвязи между особенностями структуры и свойствами целого. Это открывает возможность использования структурного

моделирования и создания знаковых моделей для описания свойств объекта и для объяснения этих свойств.

Сегодня существуют различные виды и способы моделирования, и это объясняется тем, что моделирование как метод познания используется в различных целях и осуществляется различными способами. В качестве примеров можно привести математическое моделирование, компьютерное моделирование, статистическое моделирование, структурное моделирование. В результате возникают модели, относящиеся к различным типам.

Лингвистика также использует моделирование в качестве метода исследования, поскольку язык недоступен прямому наблюдению. Иными словами, лингвисты имеют дело с «черным ящиком»: о нашей языковой способности, механизмах порождения и восприятия речи мы можем судить только по продуктам языковой (речевой) деятельности людей – записям устной речи и письменным текстам.

Прежде чем обратиться к проблеме моделирования в лингвистике, необходимо уяснить границы понятия «модель».

§ 2. Понятие модели в быту и в науке

Слово «модель» хорошо знакомо каждому человеку, но это не означает, что все люди занимаются моделированием в научных целях. Слово «модель» имеет несколько значений и, чтобы понять суть моделирования как метода научного познания, полезно различать бытовое понимание модели и понятие модели, которое используется в научных исследованиях.

Использование моделей в быту – значительная часть нашей повседневной жизни. Ребенок постигает мир через игрушки, которые являются не чем иным, как моделями объектов, с которыми он встречается каждый день. У девочек это куклы, игрушечная посуда, у мальчиков – машинки, всевозможные конструкторы, игрушечное оружие. Пока человек мал, ему легче познавать мир через модели конкретных объектов из «взрослого» мира. Кукла – это, по сути, мо-

дель человека, у нее тоже есть руки, ноги, лицо, некоторые куклы могут произнести несколько слов или имитировать поведение младенца, но это не человек. Кукла – это оптимизированная модель, т.е. в ней сохранена та часть человеческих свойств, которая необходима и достаточна для детской игры.

В работе модельеров и дизайнеров одежды понятие *модель* используется, во-первых, для называния одежды, которая служит в качестве образца, и которую можно демонстрировать публично. Во-вторых, *моделью* называют человека, который представляет одежду публике на показах.

Для коллекционеров модель – это уменьшенная копия какого-то определенного объекта, например, автомобиля или самолета. Автолюбители словом *модель* обозначают определенную модификацию автомобиля.

Таким образом, бытовое понимание понятия *модель* чаще всего сводится к материальному воспроизведению чего-либо, причем имеется в виду статическое воспроизведение объекта.

Понимание термина *модель* в науке отличается от обиходно-бытового в нескольких аспектах. Во-первых, создание и использование моделей в науке отличается своей осознанностью. Задача исследователя состоит в том, чтобы описать работу «черного ящика», ответить на вопрос, каким образом исходный материал перерабатывается в конечный продукт.

Во-вторых, в научных исследованиях модель не обязательно должна воплощаться в определенной субстанции. Человечество научилось создавать модели воображаемые, т.е. такие, которые возникают и существуют лишь в наших мыслях. Объекты, для которых мы строим мысленные модели, сами могут быть идеальными, абстрактными. Примерами таких идеальных моделей являются геометрические фигуры, геометрические точки, плоскости, идеальный газ, идеально черное тело, нулевые окончания словоформ и т.д. В природе названных объектов не существует, поэтому в таких слу-

чаях говорят, что воображаемыми являются как сами объекты, так и их модели.

В-третьих, в научном моделировании для описания свойств изучаемых объектов часто используются специальные знаковые системы, например, формальные языки математики или логики, языки программирования. Так, математическое уравнение, описывающее некоторое физическое явление – это тоже модель.

В науке *под моделью некоторого объекта мы будем понимать другой объект (реальный или воображаемый), отражающий отдельные основные свойства исходного объекта с той или иной степенью полноты.*

В данном определении важно, что модель может иметь материальную основу или не иметь ее; кроме того, необходимо помнить, что модель – это всегда упрощение реального объекта. Обычно моделируются только те свойства исходного объекта, знания о которых необходимы для решения конкретной прикладной задачи. Можно сказать, что модель – это упрощенное подобие реального объекта, реализованное в какой-либо материальной субстанции либо с помощью знаков.

§ 3. Классификации моделей

Мы уже установили, что моделями в науке называют самые разные по своей природе объекты: материальные предметы, идеальные представления, словесные описания, уравнения, математические множества, компьютерные программы и др. Использование термина *модель* по отношению к совершенно разным объектам можно объяснить, по меньшей мере, двумя обстоятельствами: широким пониманием моделирования как исследовательского метода, а также тем, что практически для любого объекта или явления можно создать несколько различных моделей, которые будут отличаться с точки зрения субстанции, в которой реализована модель, а также с точки

зрения полноты отражения свойств изучаемого предмета, процесса или явления. Выбор типа модели и способа ее воплощения всегда определяется целями и задачами моделирования.

Следствием широкой трактовки понятия модели в науке является существование различных классификаций моделей. В основу классификаций кладутся различные критерии. Например, в зависимости от *субстанции*, в которой реализуются модели, принято различать *идеальные, материальные* и *информационные*. Каждый из этих видов моделей позволяет исследователям решать определенные научные задачи.

Классификация моделей в зависимости от материала (субстанции), из которого они сделаны, представлена в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Субстанциальная классификация моделей

Тип модели	Пример модели	Цели моделирования
Материальные	Муляжи, манекены, механические устройства, электрические схемы, географические карты	Получение информации о качественных характеристиках изучаемых объектов
Информационные	Таблицы, графики, математические уравнения, базы данных, текстовые документы	Получение информации о количественных характеристиках изучаемых объектов
Идеальные	Идеальный газ, абсолютно черное тело, прямая, геометрическая точка, числовые множества	Формирование представлений об абстрактных объектах

Материальные модели дают нам возможность наглядно представлять объекты окружающего мира и предсказывать поведение этих объектов, поэтому модели этого типа широко используются в учебных целях. Общая цель создания материальных моделей – по-

лучение информации о *качественных характеристиках* моделируемых объектов: например, об их геометрической форме, некоторых физических свойствах, характере взаимодействия с другими объектами. Примерами материальных моделей могут служить глобус или географическая карта, муляжи человеческих органов, манекены и др.

Информационные модели необходимы для получения прежде всего *количественных характеристик* изучаемых объектов. Здесь целью моделирования является получение данных, которые позволят описать поведение реального объекта или явления при определенных условиях. Примерами информационных моделей, ориентированных на получение количественной информации, являются математическое уравнение, с помощью которого описывается движение потоков воздуха, обтекающих крыло самолета, диаграммы или графики.

Информационные модели могут создаваться для получения новой информации. Так, целью работы модели автоматического перевода является получение текста на другом языке, целью работы нейросети – генерирование новых данных или упорядочивание уже имеющейся информации.

Информационные модели создаются с использованием различных знаковых систем. Когда речь идет о знаковых системах, лингвист в первую очередь думает о естественном языке, однако помимо естественного языка для обмена информацией об окружающем мире может использоваться множество других знаковых систем. Возникает вопрос, в какой мере различные знаковые системы могут служить инструментом моделирования?

Идеальные модели позволяют нам оперировать абстрактными, идеальными понятиями, которые существуют только в нашем сознании. Выше мы уже говорили о том, что в случае с идеальными моделями и объекты, и их модели являются воображаемыми; они «работают» только в процессе мыслительной деятельности человека. Примерами идеальных моделей являются многие научные абстракции: идеальный газ, геометрическая точка, нулевое окончание и т.д.

Если сопоставлять знаковые системы по степени жесткости правил, то все множество систем можно представить в виде шкалы. На одном полюсе шкалы будут находиться образные знаковые системы, которые используются в искусстве. Такие системы имеют наиболее общие законы интерпретации образов, однако вряд ли можно считать их достаточно формализованными, ведь каждая эпоха в искусстве предлагает свои правила интерпретации художественных произведений. Поэтому образные знаковые системы можно лишь условно считать системами, ведь их особенностью является отсутствие грамматики, т.е. жестких правил объединения знаков. Отсюда вытекает возможность многообразных интерпретаций знаков. К тому же, потенциальное количество знаков в образных системах является неограниченным.

На другом полюсе находятся формализованные знаковые системы – языки математики и логики. Математические системы являются наиболее жесткими знаковыми системами: в них используется конечный и однозначно трактуемый набор знаков, а все операции с этими знаками выполняются на основе эксплицитных, четко заданных правил. На основе таких знаковых систем создаются собственно формальные модели различных объектов. Если с помощью языка математики или логики моделируются явления естественного языка, то такие модели могут использоваться в том числе и для решения прикладных задач автоматической обработки естественного языка.

Естественный язык по перечисленным критериям находится между образными знаковыми системами и формальными системами математики и логики: с одной стороны, количество знаков (слов) в языке потенциально бесконечно, с другой стороны, даже новые слова подчиняются правилам грамматики. Эти правила могут быть сформулированы в явном виде. В какой мере можно считать естественный язык средством моделирования, а устные и письменные тексты – моделями действительности?

Естественный язык – наиболее универсальная знаковая система, которая может быть использована для выражения любых мыслей и

идей. Естественный язык позволяет говорить практически обо всем, что происходило, происходит или может произойти в окружающем нас мире. Однако можно ли считать текст, устный или письменный, моделью некоторого фрагмента мира? Ответ на этот вопрос зависит от того, насколько жестко понимается термин «модель». Если информационные модели трактовать максимально широко, т.е. считать моделью любой заместитель, описывающий объект, и при этом не обращать внимания на то, насколько это описание объективно, мы можем признать тексты на естественном языке моделями фрагментов окружающего мира: в принципе любой текст на естественном языке описывает реальный или воображаемый (возможный) мир и, следовательно, является его моделью.

Если же к модели предъявляются более строгие требования (объективность, точность, полнота описания, однозначность интерпретации и др.), то далеко не все тексты на естественном языке будут удовлетворять этим требованиям. Дело здесь в том, что любая языковая система обладает целым рядом свойств, которые не всегда позволяют текстам достигать необходимой для моделей степени точности и полноты.

Таким образом, включение текстов на естественном языке в круг информационных моделей зависит от позиции исследователя: если признавать моделью объект, не обладающий достаточной степенью формализации, то тексты на естественном языке можно считать разновидностью информационной модели. Если же критерий формализованности модели считать обязательным, то тексты не могут считаться полноценными информационными моделями.

§ 4. Виды информационных моделей

Поскольку информационные модели представляют собой множество различных способов представления информации, в основу их классификаций могут быть положены различные критерии. Если в качестве основного критерия взять *способ представления данных*

и тип используемых знаковых систем, то к информационным моделям можно отнести:

- тексты на естественном языке (при широком понимании модели);
- формализованные данные, записанные с помощью формальных языков или представленные в виде баз данных, графиков, схем, таблиц и др.;
- визуальную информацию;
- аудио и видеозаписи.

В данной таксономии критерию формальности отвечают далеко не все модели, а только те из них, в которых используются формальные языки и формализованные способы представления информации. Остальные выделенные группы к формальным моделям не относятся.

Существуют и другие классификации информационных моделей. Для нас особый интерес представляет таксономия, в основе которой лежит критерий *степени формализованности* модели. В рамках этой классификации принято выделять

- неструктурированные модели;
- частично структурированные модели;
- модели, имеющие жестко заданную структуру.

Примером неструктурированной информационной модели может служить художественный текст на естественном языке, поскольку он воссоздает действительность в максимально произвольной форме и допускает потенциально бесконечное количество интерпретаций.

Не все тексты, написанные на естественном языке, являются неструктурированными моделями каких-либо фрагментов окружающего мира. Существует большое количество текстов, созданных по определенным правилам и имеющих достаточно жесткую структуру. Примером частично структурированной информационной мо-

дели является словарная статья, в которой определены объем и порядок подачи информации о слове или понятии. Любая анкета или бланк также структурируют количество и качество информации, поэтому такие тексты можно также отнести к частично структурированным информационным моделям.

Наконец, третий тип – модели с жесткой структурой. Это модели, в которых информация представлена в форме, пригодной для автоматической обработки. Примерами моделей с жесткой структурой являются тезаурусы, базы данных, таблицы, алгоритмы и др.

§ 5. Правила построения моделей

Для того, чтобы результаты, полученные в ходе исследования модели, были достоверными, модель должна быть создана с учетом определенных правил.

ПРАВИЛО 1. Модель может быть создана только для такого объекта, важные свойства которого связаны с его структурными характеристиками и никак не связаны с его физической сущностью.

Это правило означает, что модель должна функционировать так, чтобы ее поведение было похоже на поведение объекта; что касается материала или знаковой системы, которые используются для создания модели, то они практически всегда отличаются от материала или знаковой системы, которые формируют изучаемый объект. Например, нам необходимо создать программу автоматического перевода – по сути, это будет модель действий, которые осуществляет человек, переводящий текст с одного языка на другой. Реализация этой модели в той же субстанции совершенно необязательна; более того, алгоритм, лежащий в основе автоматического перевода, может кардинальным образом отличаться от действий переводчика. Важно, чтобы результат работы модели был максимально близок к результату работы переводчика. Целью такого моделирования будет

установление и проверка наших представлений о том, как работает мозг переводчика. Независимо от того, как будет выглядеть модель, ее работа будет признана адекватной, если производимые ею тексты будут похожи на те, которые создает человек.

ПРАВИЛО 2. Создавая модель, необходимо помнить, что она всегда является некоторым упрощением объекта.

Это правило применимо в первую очередь к моделям естественных объектов (к которым относится и человеческий язык). Любой естественный объект является сложным, выделение компонентов и связей между ними часто бывает затруднено (вспомните феномен «черного ящика»). К тому же, мы не можем быть до конца уверенными в том, что нам удалось установить абсолютно все элементы, составляющие реальный объект, и выделить все связи между ними. Поэтому исследователи говорят о том, что в процессе создания модели приходится выделять главное и пренебрегать второстепенными элементами и связями, имеющимися в изучаемом объекте. В противном случае модель становится чрезмерно громоздкой, и в результате ее работоспособность заметно снижается.

ПРАВИЛО 3. При исследовании свойств модели необходимо учитывать, что в некоторых случаях модель использует не понятия о реальных объектах, а понятия об идеальных объектах.

Примером такого понятия об идеальном объекте в лингвистике является понятие *нулевых единиц* (например, в морфологии говорят о существовании нулевой флексии, в некоторых синтаксических теориях выделяют нулевое подлежащее). Мы не можем наблюдать ни нулевую флексию, ни нулевое подлежащее, но можем пользоваться этими конструктами для системного объяснения наблюдаемых языковых явлений. Так, выделяя нулевые флексии у неизменяемых су-

ществительных, мы можем объяснить, как происходит согласование этих слов с прилагательными по роду, числу и падежу.

ПРАВИЛО 4. Создавая модель, необходимо решить, какие свойства моделируемого объекта являются наиболее важными для целей моделирования, а какими можно пренебречь.

Данное правило вытекает из правила 2. Оно применяется при построении так называемых прикладных моделей, которые создаются для решения определенных практических задач. Например, если цель моделирования – создание алгоритма проверки орфографии, наиболее важным свойством является именно орфографический облик слова, а его другие свойства могут отойти на второй план.

Заметим, что теоретическое моделирование в этом отношении отличается от прикладного, поскольку задача теоретической модели – максимально полное описание и объяснение свойств моделируемого объекта.

ПРАВИЛО 5. Если моделируемый объект является системой, то модель должна отражать системные свойства такого объекта.

Это правило означает, что, если изучаемый объект обладает свойствами системы, то и его модель должна обладать этими свойствами, т.е. должно быть определено конечное число исходных элементов, описаны возможные отношения между ними, а также установлено конечное число правил, по которым эти элементы будут соотноситься друг с другом. Очевидно, что данное правило является очень важным для лингвистического моделирования, ведь язык как раз и представляет собой сложную систему. Следовательно, любая лингвистическая модель, независимо от целей моделирования, должна быть системной.

§ 6. Требования к созданию моделей

Построенная с учетом перечисленных правил, модель должна также соответствовать ряду требований. Чаще всего первым выдвигается требование *адекватности* модели объекту моделирования.

Основная идея моделирования состоит в замене реального объекта его подобием. Однако для того, чтобы результаты, полученные с помощью модели, можно было распространить на исследуемый объект, исследователь должен быть уверен в том, что поведение модели действительно соответствует поведению объекта моделирования. В связи с этим вводится понятие *адекватности модели*. Как проверить, является ли модель адекватной объекту? В точных науках способом такой проверки является сопоставление результатов моделирования с результатами измерений фактических параметров объекта при различных условиях. Если результаты измерений совпадают с тем, что дает моделирование, модель можно считать адекватной. Именно таким способом был сформулирован закон Ома.

Адекватность лингвистической модели может быть проверена путем сопоставления результатов работы модели (например, компьютерной программы) и реальной речевой деятельности носителей данного языка. Таким образом, модель может быть признана адекватной реальному объекту, если ее функциональные характеристики и результат работы сопоставимы с речевой деятельностью носителя языка.

Еще одно требование к модели заключается в том, что всякая модель должна обладать свойством *экспланаторности*, или *объяснительной силы*. Очевидно, это требование связано с тем, что модель создается именно для того, чтобы объяснять поведение моделируемого объекта. Считается, что модель обладает свойством экспланаторности, если она, во-первых, объясняет факты или данные экспериментов, которые ранее не имели объяснения. Во-вторых, в идеале модель должна предсказывать неизвестное раньше, но принципиально возможное поведение объекта в изменяющихся условиях.

§ 7. Соотношение объекта и модели

Мы уже говорили о том, что для одного и того же объекта можно создать несколько моделей. Как в таком случае можно описать отношения между различными моделями, созданными для одного и того же объекта?

Если между элементами двух моделей существует взаимно однозначное соответствие и обе модели представляют один и тот же объект, то такие модели называются изоморфными. Слово ***изоморфизм*** образовано от двух греческих слов: *isos* – одинаковый, подобный и *morphe* – вид, форма. Любая из изоморфных моделей может быть использована для изучения свойств моделируемого объекта. Данные, полученные с помощью изоморфных моделей, дают одинаковую информацию об объекте. Изоморфные модели необходимы для того, чтобы представлять данные об объекте в наиболее удобной форме. Про изоморфные модели также говорят, что между их элементами существует или может быть установлено взаимное однозначное соответствие.

Изоморфными можно считать модели спряжения русских глаголов, записанные в виде правил, представленные в виде таблиц и реализованные в виде алгоритмов. Результаты работы всех этих моделей отражают реальную речевую деятельность носителей русского языка.

В тех случаях, когда однозначное соответствие между элементами двух моделей существует только в одном направлении, говорят о *гомоморфизме* моделей. Каждому элементу первой модели может быть сопоставлен единственный элемент второй модели, но не наоборот. Примерами гомоморфных моделей являются словари различного объема: все словарные статьи, которые есть в малом словаре, есть также и в словаре большего объема, но не наоборот.

Контрольные вопросы

1. Что такое моделирование и какова его основная цель в научном познании?
2. Почему метод моделирования используется для изучения так называемых «черных ящиков»?
3. В чем заключается основное требование к построению модели?
4. Чем отличается бытовое понимание понятия модель от научного?
5. Какие типы моделей выделяются в зависимости от субстанции, в которой они реализованы?
6. Приведите примеры материальных моделей и перечислите задачи, которые они решают.
7. Что такое информационные модели, какие виды информации они позволяют получать и с помощью каких знаковых систем строятся?
8. Чем идеальные модели отличаются от материальных и информационных?
9. В какой мере тексты на естественном языке могут рассматриваться как информационные модели?
10. Как классифицируются информационные модели по степени формализованности?
11. Какое значение имеет правило о связи модели со структурными характеристиками объекта?
12. Почему любая модель является упрощением моделируемого объекта?
13. В чем заключается различие между теоретическим и прикладным моделированием?
14. Что означает требование системности модели и почему оно особенно важно для лингвистического моделирования?
15. Что такое адекватность модели, как она проверяется, и чем изоморфные модели отличаются от гомоморфных?

Практические задания

1. Перед вами несколько примеров. Определите, к какому типу моделей относится каждый из них и объясните почему:

а) глобус Земли

б) фонологическая схема слога

в) экономическая диаграмма спроса и предложения

г) модель атома Бора

д) набор инструкций для искусственного интеллекта

2. Возьмите любой сложный объект (например, язык, климат, человеческий мозг) и:

1) определите, какую цель может иметь его моделирование;

2) опишите, какие параметры сохраняются в модели, а какие опускаются;

3) объясните, почему эти упрощения допустимы и полезны.

3. Выберите языковое явление (это может быть структура предложения, падежная система и т.д.) и постройте информационную модель с помощью таблицы или схемы. Объясните, какие признаки включены в модель и почему.

4. Выберите любую модель (например, школьную грамматику, Google Translate, нейросеть ИИ). Определите, какая часть реального объекта в ней воспроизводится верно, а какая – искажена.

5. Приведите пример теоретического моделирования (например, модель происхождения языка).

6. Найдите пример прикладного моделирования (например, синтез речи, машинный перевод). Сравните цели, методы, степень абстрактности, способы проверки результата.

Глава 2

МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЛИНГВИСТИКЕ

Во второй главе речь пойдет об использовании моделирования для изучения языка – этот метод в современной лингвистике является одним из основных. В лингвистических исследованиях термин «модель» многозначен, что затрудняет его использование. Существует несколько вариантов классификаций лингвистических моделей: в соответствии с целями моделирования принято выделять теоретические и прикладные модели; возможна также классификация моделей с точки зрения объекта исследования. Еще один важный вопрос, который обсуждается в этой главе – это вопрос практического применения лингвистических моделей.

§ 1. Термин «модель» в лингвистических исследованиях

Вместе с математическими методами в середине XX века в лингвистических исследованиях появился термин *модель*. Одним из первых этот термин использовал в 1944 г. американский лингвист З. Харрис для анализа тех методов, которыми пользовался его соотечественник Э. Сепир, однако в более специфическом смысле термин *модель* применительно к грамматике был использован другими американцами, Ч. Хоккетом, в 1954 г. и Н. Хомским в 1956 г. Оба лингвиста понимали под моделью *обобщенную и формализованную структуру языка или языковых процессов*.

Термин *модель* быстро обрел популярность и стал многозначным. Отечественный философ А.Ф. Лосев выделил 27 значений этого термина, проанализировав различные лингвистические работы, в которых исследователи использовали термин *модель*. Очевидно, что такое многообразие трактовок осложняет использование понятия *модель* в лингвистических исследованиях: хотя оно является продуктивным и популярным, его границы четко не определены.

В современной лингвистике возможные трактовки термина модель можно свести к следующим:

1. **Модель как абстрактное представление языковой системы.** Язык понимается как сложная система, а модель фиксирует его **структуру и правила функционирования.** Примером такой модели является структурная иерархическая модель уровней языка, где из более простых единиц можно получить более сложные (фонемы → морфемы → слова → предложения).

2. **Модель как формализованное описание, которое** задается через правила, формулы, графы, алгебраические структуры. Примером такой модели является генеративная грамматика Н. Хомского.

3. **Модель как идеализированное представление речевой деятельности,** где моделируется не структура языка, а коммуникация и процессы понимания / порождения речи. Яркими примерами такой модели являются модель коммуникативной ситуации Р. Якобсона и психолингвистические модели восприятия и порождения.

4. **Модель как инструмент описания частных языковых явлений, т.е. некоторая «типовая схема»:** это может быть модель словоизменения (например, парадигма спряжения глагола), синтаксическая модель предложения или компонентная модель значения слова.

5. **Модель в компьютерной лингвистике – это, как правило, алгоритм или статистическая / нейросетевая система,** которая обучается на больших данных. Примерами таких моделей являются n-граммные языковые модели, нейросетевые модели (BERT, GPT); дистрибутивные семантические модели (word2vec).

§ 2. Виды лингвистического моделирования

На разных этапах моделирования могут использоваться различные подходы к созданию лингвистических моделей, при этом выбор подхода определяется целями и задачами моделирования. Можно выделить несколько подходов к созданию лингвистических моделей:

Концептуальное моделирование: подход, при котором уже известные свойства языковой системы описываются с помощью специальной нотации (системы записи, включающей специальные знаки и символы) или на искусственном языке. Например, в генеративной грамматике для описания синтаксической структуры предложения используются деревья разбора и специальные символы; в компонентном анализе значение слова описывается через наборы сем, а структура фонемы моделируется как набор бинарных признаков [±]. Такой способ делает семантические сходства и различия между значениями слов формально видимыми.

Структурно-функциональное моделирование: подход, при котором в качестве моделей используются схемы, графики, таблицы, содержащие языковые элементы и дополненные правилами, описывающими их связи и возможности преобразования. Например, морфологический уровень языка может моделироваться как система парадигм, где показаны формы слов и даны правила их образования. В лексической семантике значения слов и их отношения могут описываться в виде семантической сети.

Имитационное моделирование: разновидность моделирования, при котором язык моделируется логико-математическими методами, а сама модель имеет вид алгоритма, пригодного для автоматизации. Имитационное моделирование используется в автоматическом синтаксическом и морфологическом анализе, в диалоговых системах, алгоритмах машинного перевода.

Обобщенное описание описанных выше подходов к созданию лингвистических моделей представлено в табл. 2.1.

§ 3. Классификации лингвистических моделей

Поскольку язык – это сложный объект, лингвисты могут создавать разнообразные модели как системы в целом, так и ее отдельных аспектов. Многообразие моделей естественного языка, а также их сложность являются причинами того, что лингвистические модели могут быть классифицированы по различным основаниям.

Таблица 2.1

Подходы к созданию лингвистических моделей с примерами моделей

Подход	Суть подхода	Вид модели	Примеры
Концептуальное моделирование	Использование **специальной нотации** или *искусственного языка* для описания свойств языка. Описание знаний о языке в абстрактной форме.	формулы, признаки, логические символы, семантические метаязыки	■ компонентный анализ; ■ формальная семантика Монтегю; ■ синтаксические правила в генеративной грамматике
Структурно-функциональное моделирование	Представление языка как **системы элементов и их функций**, показ взаимодействия и преобразования.	схемы, таблицы, графы, деревья	■ синтаксические деревья разбора; ■ таблицы морфологических парадигм; ■ семантические сети
Имитационное моделирование	Язык моделируется с использованием **алгоритмов**, пригодных для автоматизации и компьютерной реализации.	алгоритм, программа, модель в коде	■ алгоритмы; ■ парсинга; ■ морфологические анализаторы; ■ машинный перевод; ■ современные диалоговые системы; ■ векторные модели

Классификация 1. Теоретические vs. прикладные модели. В современной лингвистике принято говорить о теоретическом и прикладном аспекте моделирования и противопоставлять теоретические и прикладные модели естественного языка. Основное различие между ними заключается в том, что теоретические модели стремятся к максимально полному описанию объекта, поэтому их создатели стараются не пренебрегать даже второстепенными элементами и их свойствами (вспомните правила 2 и 4 в Главе 1). Прикладные же модели направлены на решение конкретных практических задач, поэтому они не претендуют на полноту описания объекта. Исследователи моделируют только те свойства языка, которые оказываются достаточными для решения конкретной задачи. Следовательно, эти два типа моделей различаются как полнотой описания, так и способом представления информации.

Теоретические модели являются по своей сути познавательными. Они описывают, «как все обстоит на самом деле», иными словами, в теоретической лингвистике модель – это идеальный аналог исследуемых языковых объектов. Прикладные модели создаются исходя из прагматической установки решить определенную практическую задачу. А.Н. Баранов предлагает выделять следующие типы моделей, создаваемых в рамках теоретического языкознания:

- компонентные модели или модели структуры языковой системы в целом или отдельных ее уровней;
- предсказывающие модели, цель создания которых – прогноз поведения (состояния) языковой системы в новых условиях;
- имитирующие модели, которые создаются для воспроизведения и анализа языковых явлений, чтобы можно было понять, как устроен язык, и сформулировать общие законы его функционирования;
- диахронические модели, цель создания которых – объяснить, как и почему языковая система меняется с течением времени [Баранов 2001].

Прикладные лингвистические модели обычно воспроизводят языковую (речевую) деятельность реального носителя языка или какой-то отдельный аспект этой деятельности, например, анализ и порождение текста, грамматический разбор, распознавание звучащей речи или умение вести диалог и т.д., поэтому подход к моделированию в рамках прикладной лингвистики близок к инженерному. Дополнительное сходство с инженерным подходом возникает и за счет того, что в прикладном лингвистическом моделировании широко применяется математический аппарат, т.е. прикладные модели – это, как правило, формальные системы.

Классификацию прикладных моделей целесообразно проводить по тем аспектам языковой деятельности, которые становятся объектом моделирования. Заметим, что список в данном случае остается открытым, поскольку, в зависимости от конкретной практической задачи, моделироваться могут различные сочетания аспектов языковой деятельности, и само моделирование может проводиться с различной степенью детализации.

Модели анализа создаются для имитации умения носителя языка порождать грамматически правильные словоформы, предложения, тексты, а также отличать правильные с точки зрения грамматики данного языка выражения от неправильных. В формальном моделировании моделью анализа называется конечное число правил, способных проанализировать бесконечное число предложений данного языка. Например, синтаксические модели анализа получают «на входе» текст, а «на выходе» выдают для каждого предложения запись его синтаксической структуры. Семантические аналитические модели получают «на входе» тот же материал, т.е. текст, а «на выходе» выдают смысловую запись каждого предложения на специальном семантическом языке. Практическое применение такие модели находят в большинстве систем автоматической обработки естественного языка.

Модели синтеза обеспечивают создание текста по правилам данного языка, т.е. имитируют умение носителя языка порождать

новые высказывания и объединять их в связный (когерентный) текст. В формальном моделировании моделью синтеза называется конечное число правил, способных построить бесконечно большое правильных предложений. Синтаксические модели синтеза работают в направлении, противоположному тому, которое используется в моделях анализа, т.е. «на входе» они получают запись синтаксической структуры предложения, а на выходе выдают правильные предложения данного языка. Подобным образом работают и семантические модели синтеза: на входе они используют смысловые записи предложений на специальном семантическом языке и выдают на выходе множество предложений естественного языка, синонимичных данному предложению. Такие модели находят практическое применение в системах искусственного интеллекта, экспертных системах, системах автоматического перевода.

Из представленного выше краткого описания моделей анализа и синтеза можно сделать вывод, что они являются обратными по отношению друг к другу: то, что является исходным материалом для работы одной модели, является результатом работы другой. Для таких пар моделей в моделировании принято использовать термин *обратимость*.

Помимо моделей анализа и синтеза, существуют еще так называемые ***порождающие модели***, которые занимают промежуточное положение между моделями анализа и синтеза. Порождающей моделью называется устройство, которое содержит алфавит символов (например, набор фонем, морфем, словоформ или символов простейших предложений), а также конечное число правил образования выражений из этого алфавита. На основе этих правил модель способна построить бесконечное множество предложений данного языка и приписать каждому из них некоторую структурную характеристику.

Диалоговые модели – это модели речевой деятельности, имитирующие умение носителя языка вести диалогическое общение. Эти прикладные модели находят применение в информационно-поисковых и экспертных системах, в системах искусственного интеллекта, а

также во многих других ситуациях, где диалог человека и компьютера осуществляется на естественном языке. В диалоговых моделях присутствуют и этап анализа запроса пользователя, и этап синтеза ответа на запрос. Цель любой диалоговой модели – сделать так, чтобы компьютер выдавал пользователю всю необходимую информацию.

Семантико-когнитивные модели – это наиболее сложные модели, которые имитируют языковую деятельность носителя языка наиболее полно. Как правило, цель создания семантико-когнитивных моделей – моделирование не просто языковой способности, но когнитивных способностей человека, с которыми языковая деятельность тесно связана. Точнее говорить о присутствии лингвистического компонента в когнитивных моделях. Когнитивные модели используются в системах искусственного интеллекта, экспертных системах. Лингвистический блок в таких моделях как правило отвечает и за «понимание», и за «создание» текста точно так же, как это делает человек в повседневной жизни. Эти модели считаются наиболее сложными, поскольку они включают наибольшее число различных взаимосвязанных языковых уровней, а также экстралингвистическую информацию, характеризующую условия речевой деятельности: сюда относятся модальность, пропозиция, иллокутивные и коммуникативные особенности высказываний и т.д.

Приведенную классификацию можно представить в виде схемы (рис. 2.1):

Классификация 2. Типы лингвистических моделей по Ю.Д. Апресяну. Одной из наиболее известных является таксономия лингвистических моделей, предложенная Ю.Д. Апресяном в его классической работе «Идеи и методы современной структурной лингвистики» [Апресян 1966]. В зависимости от *характера моделируемого объекта* Ю.Д. Апресян выделил три типа моделей:

1. Модели, в которых в качестве объекта выступают конкретные языковые процессы и явления. Поскольку эти модели имитируют речевую деятельность человека, Ю.Д. Апресян также называет их моделями *речевой деятельности человека* или *моделя-*

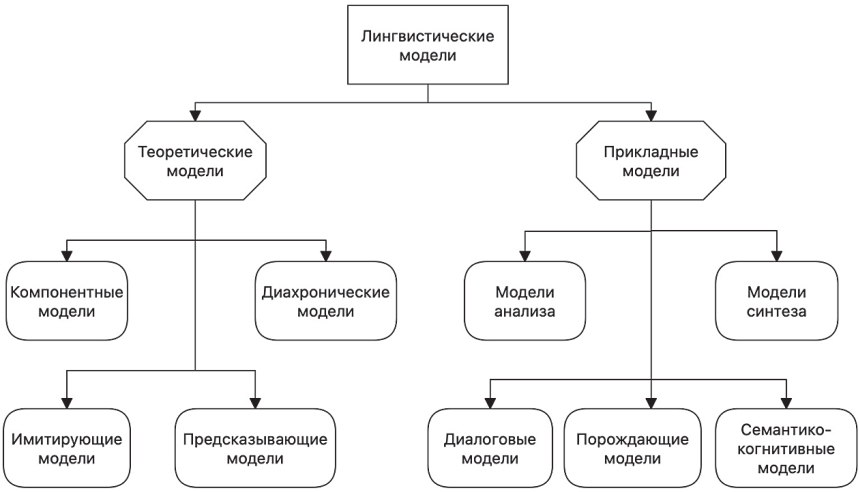


Рис. 2.1. Классификация лингвистических моделей

ми владения языком. Их дальнейшая классификация зависит от того, какой смысл мы вкладываем в понятие «владение языком». Если исходить из предположения о том, что значение не входит в структуру языка (именно это мнение долгое время господствовало в зарубежной структурной лингвистике), то модели речевой деятельности можно разделить на синтаксические и семантические. Синтаксические модели имитируют владение грамматикой, т.е. способность носителей языка понимать и строить грамматически правильные, но не обязательно осмысленные фразы. Синтаксическим (или несемантическим) моделям противопоставлены семантические модели, которые имитируют способность носителей языка понимать и строить грамматически правильные и осмысленные предложения.

2. Второй тип моделей – это модели, в которых в качестве объекта рассматриваются процедуры, ведущие к обнаружению того или иного языкового явления. Эти модели имитируют исследовательскую деятельность лингвиста. Такие модели Ю.Д. Апресян

назвал *моделями исследования*. В истории лингвистики американские дескриптивисты были первыми создателями таких моделей, поскольку именно они пытались создать универсальные алгоритмы открытия грамматик естественных языков.

Модели, имитирующие исследовательскую деятельность лингвиста, предназначены для того, чтобы объективно обосновать выбор тех понятий, которыми он пользуется при изложении моделей первого типа.

Далее Ю.Д. Апресян предложил разделить исследовательские модели на три класса в зависимости от того, какая информация используется в них в качестве исходной.

2.1. В моделях первого класса в качестве исходной информации используется только текст. Все сведения о языке, порождающем этот текст, извлекаются исключительно из текстовых данных. Такая модель имитирует лингвистическую дешифровку текста на языке, который может быть неизвестен исследователю.

2.2. В моделях второго класса считается заданным не только текст, но и множество правильных фраз данного языка. Это означает, что при разработке модели лингвист прибегает к помощи информанта, который должен оценивать каждую фразу с точки зрения ее правильности. Информантом может быть и сам лингвист, если он в совершенстве владеет изучаемым языком.

2.3. В моделях третьего класса считаются заданными не только текст и множество правильных фраз, но и множество семантических инвариантов. Практически это означает, что информант должен определять не только правильность каждой фразы, которую ему предъявляет исследователь. Он также должен о любых двух фразах говорить, значат ли они одно и то же или нет. Модели этого класса близки традиционным описаниям языковой системы.

3. Модели третьего типа в классификации Ю.Д. Апресяна – это модели, в которых в качестве объекта рассматриваются уже готовые лингвистические описания, а не речевая деятельность человека или исследовательская деятельность лингвиста.

По своей сути модели этого типа – это системы критериев и теоретических доказательств, с помощью которых из нескольких моделей, моделирующих одно и то же явление, можно выбрать лучшую.

Из всех трех типов модели, имитирующие речевую деятельность человека, являются наиболее важным типом собственно лингвистических моделей. По отношению к ним модели второго и третьего типов выполняют вспомогательную роль.

Классификация лингвистических моделей, предложенная Ю.Д. Апресяном, в обобщенном виде представлена в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Классификация моделей по Ю.Д. Апресяну

Тип модели	Объект моделирования	Цель моделирования
Тип 1. Модели языковых процессов и явлений (модели речевой деятельности)	Конкретные языковые процессы, речевая деятельность человека, его языковая способность	Объяснение того, как человек порождает, воспринимает и понимает речь
Тип 2. Модели исследования (модели деятельности лингвиста)	Процедуры и методы, которые лингвист использует для обнаружения и описания языковых явлений.	Выбор наиболее оптимальных методов исследования, формализация и автоматизация лингвистического анализа.
Тип 3. Метамодели (модели лингвистических описаний)	Уже готовые лингвистические описания, грамматики языков, теории языка, т.е. «метатеории».	Анализ, сравнение и построение общей теории лингвистических описаний, разработка общих принципов организации знания о языке.

Классификация 3. Можно провести классификацию моделей в зависимости от того, какой аспект существования и функционирования языка или речи является основным объектом моделирования. В этой классификации нет деления на теоретические и прикладные модели, поскольку создаваемые модели могут создаваться и с целью теоретического объяснения какого-либо конкретного языкового явления, и с целью решения практической задачи. Классификация моделей по объекту и целям моделирования представлена в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Классификация моделей по моделируемому аспекту языка

Вид модели	Что моделирует	Основная цель	Примеры
Структурные модели	Язык как систему знаков и уровней	Упорядочивание языковых явлений, выявление системных связей	Уровневая модель языка, полевая модель языка
Формальные модели	Языковые правила и структуры в виде формул, деревьев, алгебраических систем	Точное формализованное описание языка, возможность автоматической обработки	Генеративная грамматика, формальные семантические модели
Коммуникативные модели	Речевая деятельность, коммуникация	Объяснение процессов передачи информации	Модель коммуникации Р. Якобсона, модель Шеннона-Уивера
Психолингвистические модели	Механизмы порождения и восприятия речи	Изучение когнитивных процессов, связанных с усвоением языка и речевой деятельностью.	Модель Д. Слобина (усвоение языка детьми), модель порождения речи В. Левелта
Корпусные и статистические модели	Фактическое использование языка, вариативность, вероятностные отношения между языковыми единицами	Выявление закономерностей в больших данных, частотных зависимостей в текстах	*n*-граммные модели, коллокационные сети
Нейросетевые модели	Язык как вероятностное распределение, обучение на корпусах	Автоматическая обработка и генерация речи	word2vec, fastText, BERT, GPT

§ 4. Практическое применение формальных моделей языка

Создание формальных описаний естественного языка – сложный и трудоемкий процесс. Как правило, исследователи занимаются моделированием для решения определенных прикладных задач. Что заставляет лингвистов постоянно совершенствовать собственно лингвистические методы описания естественных языков и применять математические методы исследования? Иными словами, для каких целей создаются формальные модели языка и какие проблемы решаются с их помощью?

Наиболее ранние формальные лингвистические модели были направлены на решение задач, сформулированных в рамках теоретического языкознания. Так, ранняя версия трансформационной грамматики Н. Хомского – это, по замыслу автора, попытка ответить на вопрос, как происходит усвоение языка ребенком. О том, насколько удачной была эта попытка, мы поговорим несколько позже, пока же для нас важно, что создание модели было продиктовано в большей степени теоретическим интересом к проблеме.

Положение изменилось, когда в повседневную жизнь общества вошли компьютеры. Возникла новая практическая задача – обеспечить взаимодействие человека и компьютера на естественном языке. И эта задача не могла быть успешно решена без создания формальных описаний естественного языка, поскольку только такие описания пригодны для последующего использования в компьютерных программах. Поэтому сегодня основная сфера практического применения формальных моделей естественного языка – это обеспечение взаимодействия человека и компьютера. Сложность решения этой задачи требует моделирования всех языковых уровней – фонетического, морфологического, синтаксического. Необходимы также семантические модели, создание которых вызывает наибольшие трудности, поскольку семантика пронизывает все уровни языка.

Опираясь на традицию уровневого описания языка, посмотрим, для решения каких практических задач лингвисты создают уровне-

вые модели, а также моделируют взаимодействие между различными уровнями языка. Создатели современных моделей не ограничиваются одним уровнем, поскольку конкретные практические задачи требуют взаимодействия различных уровней между собой.

Практическое применение фонетических и фонологических формальных моделей. Звуковая форма существования языка является основной и исходной для любого естественного языка. Фонетико-фонологические модели необходимы не только для создания полноценной теории этого уровня языка, но и для решения ряда важных практических задач. Знание акустических характеристик речевого потока необходимо для:

- создания систем передачи речи по различным каналам связи,
- разработки автоматических систем распознавания и синтеза речи,
- разработки автоматизированных систем перевода текста в звучащую речь и обратно,
- обучения иностранным языкам (в том числе и с помощью компьютера),
- улучшения методики восстановления речи и слуха у больных с соответствующими нарушениями.
- фоноскопической экспертизы (голосовой биометрии), когда фонетические особенности голоса анализируются для идентификации личности по голосу, например, в судебных расследованиях.

Практическое применение морфологических формальных моделей. Морфологические модели находят широкое применение в различных областях автоматической обработки языка, где требуется анализ, понимание и порождение (генерация) текста. Для последующего синтаксического и семантического анализа необходим морфологический анализ – определение частеречной принадлежности словоформ и их грамматических характеристик. Еще одна важная зада-

ча – лемматизация (приведение словоформы к ее начальной форме) и стемминг (отсечение окончаний для получения основы слова), которые необходимы для создания поискового индекса слова и повышения полноты поиска: алгоритм может находить документы, в которых употребляются различные грамматические варианты нужного слова или словосочетания.

Морфологические анализаторы используются для определения, является ли данная последовательность букв валидной словоформой. Они также выявляют ошибки согласования.

Еще одна практическая задача – автозаполнение и предиктивный ввод – требует морфологического анализа и синтеза. Модели предсказывают следующую словоформу или предлагают правильное окончание для незавершенного слова.

В корпусной лингвистике морфологические анализаторы используются для автоматической разметки больших массивов текстов. Каждой словоформе приписывается ее грамматическая характеристика, что необходимо для поиска данных в корпусе и их статистической обработки.

В информационном поиске морфологическая модель позволяет находить все словоформы запроса. Например, запрос «*покупка машины*» должен находить документы, содержащие «*купить машину*», «*покупали машину*».

Морфологический анализ и синтез – необходимые этапы машинного перевода. При генерации текста морфологические модели обеспечивают правильное согласование слова в предложении.

Практическое применение синтаксических формальных моделей. Синтаксические модели являются важным звеном в обработке естественного языка, поскольку они позволяют компьютеру «понять» структуру предложения и грамматические отношения между словоформами в предложении.

Синтаксический анализ является обязательным этапом в работе систем машинного перевода. Он необходим для преобразования

синтаксической структуры входного предложения в структуру выходного предложения.

Синтаксический анализ предложения также используется в информационно-поисковых системах, хотя для этих систем выполняется, как правило, приближенный, неполный синтаксический анализ. При неполном анализе распознается структура отдельных частей предложения, в основном именных словосочетаний, которые входят в предложение. Такой подход к синтаксической структуре запроса обусловлен тем, что целью автоматической обработки текста запроса является индексирование текста, т.е. распознавание в тексте документа и тексте запроса лексем, обозначающих понятия или термины.

В системах искусственного интеллекта также существует особый блок, который отвечает за анализ синтаксической структуры предложений. Потребность в анализе синтаксической структуры высказывания существует также и в системах распознавания естественной речи. Когда остаются распознанные не до конца высказывания, требуется провести дополнительный семантико-синтаксический анализ, чтобы выдвинуть гипотезы о содержании этих высказываний.

Интерес к формальному синтаксическому анализу существует и в рамках теоретической лингвистики, поскольку без точного формального представления структуры предложения невозможно проводить исследования синтаксиса естественных языков статистическими методами. Формальные модели также используются в исследованиях по типологии естественных языков.

Практическое применение семантических формальных моделей. Создание формального семантического описания является наиболее сложным, но в то же время совершенно необходимым этапом лингвистического моделирования.

Формальные семантические модели используются для моделирования семантики не отдельных слов, а целых предложений и тек-

стов. Разработки в области формальной семантики необходимы для успешной работы систем автоматического перевода, для современных информационно-поисковых систем.

Многие современные модели сосредоточены на описании взаимодействия различных языковых уровней, например, фонологического и морфологического, или морфологического и синтаксического уровней. Наиболее важным представляется взаимодействие синтаксиса и семантики высказывания, поэтому целый ряд моделей ориентирован именно на семантико-синтаксический интерфейс. Таким образом, формальное описание языка не ограничивается отдельными уровнями. Это объясняется сложностью и взаимосвязанностью языковых явлений, а также потребностью в наиболее полном описании языка.

Контрольные вопросы

1. В каком контексте и кем впервые был использован термин *модель* в лингвистике?
2. Как понимали модель в лингвистике Ч. Хоккет и Н. Хомский?
3. Почему в лингвистике понятие модель является многозначным?
4. Какие основные значения термина модель выделяются в современной лингвистике?
5. В чем заключается специфика понимания модели в компьютерной лингвистике?
6. В чем состоит суть концептуального моделирования и какие примеры моделей ему соответствуют?
7. Чем структурно-функциональное моделирование отличается от концептуального?
8. Что представляет собой имитационное моделирование? Где оно применяется?

9. Какие типы теоретических моделей выделяются в классификации А.Н. Баранова?

10. В чем заключаются отличия теоретических и прикладных лингвистических моделей по целям и степени полноты описания?

11. Какие три типа моделей выделял Ю.Д. Апресян, и чем они различаются по объекту моделирования?

12. Что понимается под моделью исследования в классификации Ю.Д. Апресяна?

13. Какие три класса моделей исследования выделяет Ю.Д. Апресян в зависимости от исходной информации, которой располагает лингвист?

14. Какие типы моделей входят в классификацию по аспекту функционирования языка (структурные, формальные, коммуникативные и др.) и какие цели они преследуют?

15. Каковы основные направления практического применения формальных моделей языка?

Практические задания

1. Прочитайте описания ниже и определите, к какому типу лингвистических моделей они относятся:

а) Модель, описывающая вероятностное распределение слов в тексте.

б) Модель, изображающая движение информации в речевом акте.

в) Модель, отражающая связи между морфемами в слове.

г) Модель, используемая для автоматического синтеза речи.

д) Модель, формализующая отношения между значениями и формами слов.

2. Выберите одно языковое явление (например, согласование в русском языке, структура слога, порядок слов в предложении) и:

1) определите, какую модель можно построить для его описания (структурную, функциональную, имитационную и т.д.);

2) опишите, какие элементы модели соответствуют элементам языка;

3) укажите, какие параметры упрощены или исключены.

3. Возьмите любую лингвистическую модель (например, морфологический анализатор, синтаксический парсер, фонетическую таблицу) и:

1. Определите, какие свойства языка она воспроизводит;
2. Какие аспекты языка в ней искажены или упрощены;
3. Сделайте вывод: является ли эта модель адекватной по отношению к моделируемому языковому явлению.

Глава 3

ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ ФОРМАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

Язык обладает рядом важнейших свойств, которые позволяют считать его знаковой системой высокого уровня сложности. Идея системности используется как сторонниками функционального подхода к языку, так и теми лингвистами, которые создают формальные описания языка. Традицию формального описания языка в истории языкознания связывают с утверждением структуралистской парадигмы, хотя идеи, которые и сегодня лежат в основе формального моделирования, высказывались лингвистами и в XIX веке.

Третья глава посвящена проблеме противопоставления формального и функционального подходов к описанию языка. Также в этой главе дается краткий обзор лингвистических школ и идей, которые стали теоретическим основанием современного формального моделирования.

§ 1. Формализм и функционализм в лингвистике

Современная лингвистика отличается чрезвычайным разнообразием научных теорий, способов и подходов к изучению языка. Одно из наиболее заметных различий – это различие между формальным и функциональным подходами. Различия между ними проявляются в том, как лингвисты собирают и анализируют языковые данные, в также в том, что они включают в сферу своих исследовательских интересов и как объясняют различные свойства языков. Сторонники формального подхода интересуются такими языковыми свойствами, которые представители функционализма могут игнорировать, и наоборот. Однако важно помнить, что, несмотря на все различия цель обоих подходов – в описании и объяснении свойств человеческого языка, и в этом смысле формальный и функциональный подходы могут считаться не противоположными, а дополнительными друг другу.

В самом общем смысле *формализм* – в искусстве, архитектуре, логике, философии и других науках – это подход, который сосредо-

точен на изучении структурной организации различных объектов. Считается, что создание формального описания объекта возможно только в том случае, если сам объект обладает некоторой структурой и функционирует как целостная система.

Функциональный подход к объектам и явлениям предполагает внимание к той роли (или функции), которую играют эти объекты или их отдельные компоненты в окружающем мире. Например, архитектор может создать здание такой формы, чтобы оно «вписывалось» в окружающий ландшафт и было приспособлено для выполнения определенной функции. Когда речь идет о сложной системе, функция является необходимым условием для стабильности и устойчивости этой системы.

Как проявляются формальный и функциональный подходы к языку в лингвистике?

Идея о системности языка укрепилась в лингвистике достаточно давно, однако системно-структурные свойства языка объясняются сторонниками формального и функционального подходов по-разному. Как пишет Ф. Ньюмейер, оба течения пытаются ответить на вопрос, какие свойства являются общими для всех языков мира, что возможно в грамматике естественного языка, а чего в ней быть не может. Однако исходные позиции и способы рассуждения функционалистов и сторонников формального подхода к языку принципиально отличаются.

Функционалисты исходят из положения о том, что *строение языка определяется, во-первых, функциями, которые выполняют языковые единицы, а во-вторых, когнитивными способностями человека*. Поскольку язык – это целенаправленная деятельность, на устройство грамматики влияют внешние условия использования языка и когнитивные способности носителей языка. Форма в этом смысле вторична, она – результат (продукт) тех функций, которые выполняет язык: например, порядок слов «служит» цели построения высказываний так, чтобы наилучшим образом обеспечить социальное взаимодействие.

В качестве примеров функциональных лингвистических теорий можно назвать системную функциональную грамматику, грамматику конструкций, лингвистическую прагматику, лингвокогнитивные исследования. Также идеи функционального подхода к языку развиваются в теории актуального членения предложения, выдвинутой пражскими лингвистами. Другой пример – в современной лингвистической типологии различия в грамматике языков мира часто объясняются именно различиями в условиях использования этих языков.

В наиболее обобщенном виде функциональное объяснение в лингвистике может выглядеть так: некоторое явление существует в языке, чтобы выполнять определенную функцию. Например, функциональным является вывод о том, что развитая система падежей в языках со свободным порядком слов необходима для того, чтобы кодировать участников ситуации, о которой говорится в предложении. При отсутствии падежной системы эту функцию выполняет фиксированный порядок слов в предложении. Подобный способ рассуждения идет *от значения (функции) к способу его выражения, т.е. к форме*, и позволяет исследователям искать ответы на самые разные вопросы, например, как происходит выбор способа референции, почему в ряде случаев говорящий предпочитает выбрать форму пассивного залога вместо активного, как используются дейктические средства языка и т.д. Обобщая, можно сказать, что такие исследования описывают языковые единицы с позиции говорящего, а функции языковых единиц отражают те коммуникативные потребности в выражении определенных смыслов, которые могут возникать в процессе общения.

Поскольку функции определяются *когнитивными способностями и коммуникативными потребностями* людей, еще одно важное положение функционализма – признание тесной связи свойств языка с общими когнитивными способностями человека.

Следующей важной характеристикой функционального подхода является то, что он позволяет учитывать контекст, в котором

используется язык (т.е. прагматические условия), и объяснять, каким образом носители языка понимают косвенные речевые акты и извлекают из сказанного различные социальные смыслы, например, отличают вежливые высказывания от невежливых.

Таким образом, с точки зрения функционализма, язык является знаковой системой, оптимизированной для достижения определенных коммуникативных целей. Поэтому язык должен изучаться с точки зрения своей роли в человеческой коммуникации. При таком подходе любое языковое явление заслуживает внимания лингвиста, поскольку оно занимает свое особое место в системе языка и выполняет какую-то значимую для носителей этого языка функцию. При этом нельзя сказать, что в функциональных исследованиях совсем не уделяется внимание форме языковых единиц – напротив, она описывается в связи с теми функциями, которые она выполняет в высказывании.

Сторонники формального подхода к языку исходят из противоположного утверждения: *основные свойства языка никак не связаны с условиями его использования*. В генеративной грамматике Н. Хомского исходной является мысль о том, что базовые языковые структуры являются врожденными. Такой подход позволяет объяснить, почему маленькие дети одинаково легко усваивают типологически различные языки независимо от того, насколько сложна их грамматика. Очевидно, что к врожденным структурам относят не грамматику и лексику конкретного языка, а некие абстрактные схемы и принципы, общие для всех естественных языков. Эти абстрактные схемы и принципы в работах Н. Хомского и его сторонников получили название глубинных структур.

Помимо постулата об отсутствии связи между формой языковых элементов и условиями их использования многие формальные описания языка основываются на идее о том, что каждое предложение обладает внутренней глубинной структурой, которая связана с мыслью, и внешней структурой, которая соответствует фонетической или графической реализации этого предложения. Утвержда-

ется, что в основе всех естественных языков лежит одна и та же внутренняя структура; различия между языками касаются только внешнего облика конкретных предложений. Поскольку глубинные структуры недоступны прямому наблюдению, они моделируются и описываются на языках формальных грамматик. Такой подход к языку можно назвать инженерным: подобно тому, как инженер создает абстрактный чертеж здания, в котором определенные формы могут многократно повторяться, образуя сложную структуру, состоящую из отдельных модулей, сторонники формального подхода к языку описывают его структуры с помощью абстрактных представлений, которые значительно отличаются от того, с чем мы сталкиваемся в обычной жизни.

Формализм в лингвистике принято связывать с именем Н. Хомского, чьи исследования базируются на идее о том, что язык может быть описан в виде системы формальных правил, которая не зависит от контекста, в котором он используется. Грамматика языка, по мнению Хомского, – это набор точных операций, иногда включающих абстрактные формы, далекие от того, что мы воспринимаем в обычной речи, и эти операции можно изучать независимо от того, как носители используют язык. Хомский также исходил из того, что знание грамматики языка (то, что он обозначал понятием *языковая компетенция*) не зависит от остальных когнитивных способностей человека, а сама грамматика – это набор независимых модулей, взаимодействующих друг с другом.

Основные различия между формальным и функциональным подходом к описанию языка приведены в табл. 3.1.

Формальный подход к описанию языка не следует отождествлять с формальными способами представления лингвистической информации. Важно помнить, что формальное представление информации о свойствах языка используется не только в собственно формалистских исследованиях. Функциональный подход к языку не предполагает обязательного отказа от формализации результатов. В современной лингвистике существует достаточно большое количе-

ство функциональных теорий и моделей, авторы которых активно пользуются существующими способами формализации языковой информации (например, к таким теориям относится референциально-ролевая грамматика Р. Ван Валина).

Таблица 3.1

Основные различия между формальным и функциональным подходами к описанию языка

Характеристика	**Формальный подход**	**Функциональный подход**
Объект исследования	Язык как автономная система правил и структур	Язык как средство коммуникации
Основной вопрос	*Как устроен язык?*	*Как используется язык?*
Фокус анализа	Форма, структура, грамматика	Функции, значение, контекст
Отношение к синтаксису	Синтаксис первичен, описывается независимо от функций	Синтаксис рассматривается через его роль в передаче смысла
Методы	Формализация, математические модели, генеративная грамматика	Анализ дискурса, прагматика, когнитивные модели
Сильные стороны	Строгость, системность, предсказуемость	Реалистичность, связь с коммуникацией и мышлением
Ограничения	Игнорирует социальный и когнитивный аспекты	Менее строгая формализация, трудности в моделировании

§ 2. Предпосылки создания формальных моделей языка

В формальных моделях естественного языка широко используются метаязыки и модели математики и логики. Очевидно, что приложение таких способов описания к языку становится возможным только благодаря тому, что естественный язык обладает определенными свойствами, которые позволяют представить его как формальную систему.

Эти свойства давно интересуют лингвистов, и идеи о возможности формального описания языка были высказаны задолго до того, как сформировался формальный подход к языку. Многие идеи, которые сегодня мы бы назвали формалистскими, были высказаны представителями различных течений структурализма, но и сам структурализм стал возможен благодаря идеям предшественников.

Развитие формальных методов описания естественного языка принято связывать с развитием структурализма с одной стороны, и компьютерных технологий – с другой. Однако задолго до формирования структурализма как особого лингвистического направления и появления компьютеров в лингвистике было высказано немало идей, которые сегодня мы назвали бы структуралистскими или отнесли бы их к формальному подходу. Одним из источников этих идей можно с полным правом считать работы И.А. Бодуэна де Куртенэ.

В своих работах И.А. Бодуэн де Куртенэ во многом предвосхитил идеи основателя структурализма Фердинанда де Соссюра. Именно Бодуэн высказал мысль о необходимости изучать язык не только в исторической перспективе, но и в его синхронном состоянии. При этом он проводил различие между языком как набором определенных элементов и категорий (статика) и языком как беспрерывным процессом (динамика). Бодуэн также размышлял о возможности применения точных методов исследования в лингвистике, предлагал использовать количественные методы. Еще в 1909 году он высказал мысль о том, что по мере своего развития лингвистика должна приблизиться к точным наукам.

Накопленные к началу XX века знания о языках требовали нового уровня систематизации. Такая систематизация стала возможной благодаря идеям Ф. де Соссюра.

Фердинанд де Соссюр (1857–1913) – швейцарский лингвист, чьи идеи легли в основу многих современных лингвистических школ и направлений, – считается основателем структурализма. Его идеи во многом определили развитие теоретического языкознания в XX веке. Здесь мы перечислим только те идеи Ф. де Соссюра, ко-

торые оказались востребованными в формальных лингвистических исследованиях.

1. Разделение лингвистики на внешнюю и внутреннюю. Внешняя лингвистика отвечает на вопрос «Как функционирует язык?», в то время как внутренняя сосредоточена на вопросе «Как устроен язык?».

2. Ф. де Соссюр определял язык как знаковую систему и стремился к выявлению системных отношений между языковыми единицами: «...В языке нет ни понятий, ни звуков, которые существовали бы независимо от языковой системы, а есть только смысловые различия и звуковые различия, проистекающие из этой системы»[1]. Такое представление о языке как системе взаимосвязанных элементов, где значение определяется не самим объектом, а отношениями внутри системы, является ключевой для формального моделирования, поскольку цель создания многих формальных моделей заключается в установлении системных связей между элементами языковой системы. Именно связи между элементами различных уровней языка делают возможным его функционирование.

3. Противопоставление синхронии и диахронии, при этом приоритет отдавался изучению синхронного состояния языка. Устройство языковой системы можно описать как систему отношений между знаками различных уровней, не обращаясь к истории языка.

4. Соссюр выделил два «измерения» языка – парадигматическое и синтагматическое. Парадигматическое («вертикальное») измерение описывает отношения по сходству и противопоставлению в языковой системе. Синтагматическое («горизонтальное») измерение описывает отношения между языковыми элементами в линейной последовательности. Эти два измерения стали основой для построения структурных моделей (сетей, деревьев, грамматик) и формализации через правила комбинаторики и подстановки.

[1] Соссюр Ф. де. Труды по языкознанию. М, 1977. С. 152–153.

5. Соссюр определил знак как единство двух сторон (планов): означающего и означаемого. Означающее – это форма, звуковая или графическая оболочка знака; означаемое – это его содержание. В современных формальных моделях знак обычно представляется как пара

$$\text{SIGN} = \langle \textit{Expression}, \textit{Content} \rangle$$

или как отображение

$$f : \textit{Expression} \rightarrow \textit{Content},$$

где *Expression* – множество форм (словоформы, морфемы, звуки), а *Content* – множество значений. Такое формальное представление о языковых знаках лежит в основе семантических сетей, лексических баз данных.

6. Соссюр ввел в лингвистику идею произвольности знака, что позволило разделить уровни описания (фонологический, морфологический, синтаксический), задать правила соответствия между ними как формальные отображения и строить иерархические модели, где каждый уровень одновременно и автономен, и связан с другими уровнями.

7. Противопоставление *langue* (язык как система правил и оппозиций) и *parole* (реализация языка в речи) позволило впоследствии создавать формальные модели в виде абстрактной системы правил для *langue* (например, в виде формальной грамматики). Конкретные тексты высказывания, то есть *parole* в соссюровском понимании, – это данные для проверки таких моделей.

Идеи Ф. де Соссюра в значительной степени определили развитие лингвистики и легли в основу подхода, который получил название *структурализм*, поскольку внимание исследователей было сосредоточено на синхронном описании структуры языка как знаковой системы.

§ 3. Идеи структурализма как основа формального моделирования естественного языка

В первой половине XX века структурализм становится новой парадигмой лингвистических исследований. В Европе и США параллельно происходит формирование сразу нескольких научных школ, основные идеи которых укладываются в рамки структурализма.

Как научное направление структурализм характеризуется вниманием к структурным характеристикам языка и к взаимосвязям языковых единиц внутри системы.

В истории лингвистики принято говорить о трех основных направлениях структурализма: *датской глоссематике, американской дескриптивной лингвистике и Пражском лингвистическом кружке.*

Глоссематика. Название этой лингвистической теории происходит от греческого слова *glossa* (γλῶσσα) – язык. Основателем и самой яркой фигурой глоссематики – копенгагенской школы структурализма – был Луи Ельмслев (Louis Hjelmslev, 1899–1965). Ему принадлежит идея создать строгую «алгебраическую» теорию языка как формальной системы знаков, связать лингвистику с математикой и математическими методами описания языка. В глоссематике язык рассматривался как автономная сущность, поэтому все внимание уделялось исключительно структурно-семиотическому аспекту языка. Предполагалось, что такая лингвистическая теория должна была стать максимально абстрактным описанием языка, которая в идеале должна была оцениваться в соответствии с критериями внутренней непротиворечивости, простоты и полноты. Общие принципы построения лингвистической теории были заимствованы Л. Ельмслевом из математической логики.

Л. Ельмслев отвергал подход «от фактов к теории», поэтому единственно возможным методом описания языка он считал дедуктивный метод: движение мысли должно идти от общей, максимально абстрактной теории к фактам. Такая теория должна была давать

возможность описать систему, которая лежит в основе анализируемого текста.

Для описания языка в глоссематике использовалась не традиционная лингвистическая терминология, а математические понятия: это объекты и классы объектов, зависимости между объектами (или их функции), различные типы зависимостей между переменными и постоянными, логические операции с объектами. С помощью этих понятий формировалось представление о языке как системе чистых отношений, существующей вне времени. Л. Ельмслев создал классификацию функций на основе понятия о константах, (единицах, не зависящих от других величин) и переменных (единицах, обусловленных другими величинами): интердепенденция – это функция между двумя константами, детерминация – функция, которая связывает константу и переменную, и констелляция – функция между двумя переменными.

В историю лингвистики глоссематика вошла благодаря нетрадиционному пониманию языкового знака: это не обозначение чего-либо, а лишь связь плана выражения и плана содержания. Именно отношения между этими двумя планами, по замыслу Л. Ельмслева, должны были интересовать лингвистику.

Такая строгость и абстрактность подхода к языку привела к тому, что смысловая составляющая языка оказалась исключительно обедненной. Попытки описать какой-либо конкретный язык в рамках глоссематики не давали значительных результатов, однако некоторые из ее категорий (например, противопоставление плана выражения и плана содержания или формы и субстанции в языке) обогатили понятийный аппарат языкознания.

Чем интересна глоссематика для формального моделирования языка? Во-первых, тем, что глоссематика стала одним из первых опытов применения математической методологии для анализа языка. Во-вторых, выделение отдельных планов, правил комбинирования и установления четких соответствий между смыслом и формой – это и

была попытка создания формальной модели языка. В-третьих, в рамках глоссематики язык рассматривался как некоторая абстрактная вычислительная система, описание которой должно соответствовать требованиям непротиворечивости, полноты и простоты.

Идеи американских дескриптивистов. Еще одним направлением структурализма, идеи которого востребованы в формальном моделировании языка, является американский дескриптивизм. Это направление развивалось без тесных контактов с европейской лингвистикой, под влиянием американской школы антропологии, которая понималась достаточно широко и включала в себя изучение этнографии, фольклора, археологии и языков коренных народов. Американские лингвисты, занимавшиеся изучением языков индейцев, обнаружили, что традиционные категории и методы исследования, удобные для описания индоевропейских языков, непригодны для описания языков коренных народов Северной Америки. Поэтому им пришлось разрабатывать собственные методы, чтобы решать самые разные проблемы, возникавшие при работе с информантами.[1]

Основоположником американского дескриптивизма считается Л. Блумфилд. Его основной вклад в структурную лингвистику – разработка формального метода описания структуры языка, который получил название дистрибутивного. Создавая этот метод, Блумфилд стремился строго определять термины и способы рассуждения, как это принято делать в математике.

Наиболее последовательно дистрибутивный анализ описан в работе З. Харриса "*Method in Structural Linguistics"*, вышедшей в 1947 г. Цель дистрибутивного анализа – выделение элементарных единиц через описание повторяющихся сегментов текста и анализ всех окружений этих сегментов (их дистрибуции). Следующий шаг дистрибутивного анализа – идентификация единиц языка, т.е. установление того, какие из элементов являются вариантами одной и

[1] Более подробно об этих проблемах см. в книге *Алпатов В. М.* История лингвистических учений. М, 2005. 368 с.

той же языковой единицы, а какие элементы принадлежат к единицам различных классов.

Для описания классов элементарных единиц американские дескриптивисты предложили использовать технику *субституции*, т.е. подстановки различных элементов в различные контексты. Описание законов сочетаний элементов проводилось через анализ по непосредственно составляющим.

Перечислим основные идеи, которые легли в основу американского дескриптивизма.

1. *Отношение к линейной речевой последовательности как к набору элементов, которые подчиняются определенным правилам.* Это отношение возникло в связи с особенностями языкового материала, который исследовали американские дескриптивисты. Сторонники этого лингвистического направления сосредоточились на изучении языков американских индейцев, структура которых значительно отличается от языков «среднеевропейского стандарта». Исследователь оказывался в позиции внешнего наблюдателя, не имеющего никакой предварительной информации об изучаемом языке. Задачей исследователя было выявление единиц, составляющих незнакомый язык. Поскольку греко-латинский стандарт описания грамматики языка оказался неприменимым к языкам коренных народов США, дескриптивисты стремились исследовать язык так же, как представители естественных наук изучают окружающий мир. При таком подходе исследователь должен был полностью исключить собственную языковую интуицию и самонаблюдение.

2. *Мысль о возможности описания грамматики незнакомого языка через анализ сочетаемости языковых единиц.* Внешний наблюдатель не обязан понимать смысл высказываний на исследуемом языке. Для описания грамматики языка достаточно замечать в речи повторяющиеся фрагменты и правила их сочетаемости. Повторяемость элементов в высказываниях, регулярность их сочетаний друг с другом позволяют установить законы, описывающие грамматику языка.

Описание языка считается исчерпывающим, если соблюдены следующие условия:

а) установлены элементарные единицы на всех языковых уровнях;

б) описаны классы элементарных единиц;

в) описаны законы сочетания элементов, принадлежащих к различным классам.

3. Представление о том, что более сложные языковые формы могут быть разложены на простые: непосредственно составляющие – синтагмы, и терминальные (конечные) – морфемы. Такой подход к языку позволяет создавать иерархические модели языка.

Идеи Пражского лингвистического кружка. Подход к языку, который сложился в рамках Пражского лингвистического кружка, был менее строгим по сравнению с глоссематикой или американским дескриптивизмом. Однако при этом он отличался большей реалистичностью, поскольку здесь лингвисты не относились к языку как к системе чистых отношений. Напротив, для них были важны собственные свойства языковых единиц. Наиболее отчетливо это проявилось при изучении фонетического уровня языка. Кроме того, члены Пражского лингвистического кружка не были сторонниками жесткого противопоставления синхронии и диахронии, понимая синхронию как определенное состояние языка, которое может быть описано только в том случае, если уже выявлены его связи с предшествующими состояниями.

Лингвисты, входившие в Пражский лингвистический кружок, рассматривали язык и с функциональных позиций. Функциональную точку зрения они понимали как изучение системы средств выражения, служащей какой-то определенной цели. Классификация функций языка, предложенная Р.О. Якобсоном, до сих пор остается востребованной в лингвистических исследованиях.

Наиболее интересные идеи, востребованные в формальном лингвистическом моделировании, связаны с фонологической теорией. Для структурного анализа фонологической системы оказывают-

ся существенными не реальные звуки речи, а противопоставления, или различия, связанные с различиями в значении. Например, в русском языке противопоставление согласных *д* и *т, б* и *п, з* и *с* по звонкости / глухости отличает слова *дом* и *том*, *блеск* и *плеск*, *суд* и *зуд* и т.д. Поскольку *д* и *т*, *б* и *п*, *с* и *з* выполняют *смыслоразличительную функцию,* они должны считаться разными фонемами.

По образцу описания фонологической системы языка именно как системы противопоставлений, значимых для различения смысла, стали применяться структурные методы в грамматических описаниях. Так, Р.О. Якобсон анализировал морфологические характеристики грамматических форм и пришел к выводу, что в паре одна из форм всегда может быть охарактеризована как имеющая определенный признак, а вторая – как форма, в которой признак остается невыраженным. В этом случае соотношение между сопоставляемыми формами может быть описано на языке математики и на языке формальной логики. Форма, в которой признак получает явное выражение, называется маркированной; противопоставляемая ей форма остается немаркированной (+A /–A; A/~A). Позднее эта идея оказалась востребованной в формальном моделировании, поскольку в таком виде информация о единицах естественного языка легко переводится на формальные языки математики и логики: немаркированный элемент принимается за «значение по умолчанию». Например, в морфологическом анализаторе для английского языка признак [Number: Singular] считается немаркированным, поскольку он не требует специального окончания (*cat, dog*), а признак [Number: Plural] – маркированным, поскольку для него нужна дополнительная морфема (*cat+s, dog+s*).

В синтаксисе члены Пражского кружка (в частности, В. Матезиус и его последователи) развивали синтаксис зависимостей, где структура предложения описывается через отношения главного и зависимого слова. Эта идея позже легла в основу формальных грамматик зависимостей (Dependency Grammars): модель представляет предложение в виде дерева зависимостей, где у каждого слова (кро-

ме корневого) есть одно и только одно главное слово. Дерево может быть представлено в виде ориентированного графа, в котором дуги могут быть помечены типами синтаксических отношений. Такой способ представления синтаксической структуры предложения сейчас используется в синтаксических парсерах (например, в spaCy).

§ 4. Формальное моделирование в лингвистике во второй половине XX в.

Целенаправленное создание формальных лингвистических моделей началось с середины XX века, когда в структурных описаниях начали использоваться математические методы и модели. Лингвистическое направление, в рамках которого создаются формализованные модели языка, сегодня называют структурной лингвистикой.

Анализируя историю возникновения и развития структурной лингвистики, Ю.Д. Апресян писал, что этому способствовали как внешние, так и внутренние стимулы.

Во второй половине XX века внешним стимулом стала необходимость общения человека с компьютером на естественном языке. Чтобы компьютер «понимал» естественный язык, необходимо создание формальных описаний языковых систем: «…чтобы воспринимать, хранить, выдавать или обрабатывать информацию, например, выполнять перевод текстов, машина должна знать язык, на котором эта информация записана. Чтобы исследовать текст, машина также должна иметь некоторые сведения о языке (например, чтобы выделить синтаксические структуры языка, машина должна уметь различать классы слов или члены предложения). Если машина не знает языка, то должна знать по крайней мере правила обработки текста, с помощью которых она могла бы извлечь из текста некоторые сведения об устройстве языка, на котором этот текст написан, и т.д. Во всех этих случаях человек должен вступить в общение с машиной и преподать машине знания в понятном для нее виде, т.е. формально» [Апресян 1966: 7–8].

Внутренним стимулом для развития структурной лингвистики стала потребность в создании непротиворечивых описаний языков, формировании точного понятийного аппарата для лингвистических исследований. Поэтому в лингвистических исследованиях появилось понятие формализации.

В моделировании ***формализацией*** *называется отображение результатов исследования, описание объектов, фактов и событий в точных понятиях и утверждениях.* Чем точнее описаны изучаемые объекты с помощью определенной системы знаков, тем выше степень их формализации. Чаще всего знаковыми системами, с помощью которых формализуется некоторое знание, являются языки математики или логики. В отличие от естественного языка, эти языки являются формальными как в плане формы, так и в плане содержания.

Проблема формального представления знаний о каком-либо объекте, в том числе о языке, сегодня стоит достаточно остро, и таким положением дел мы обязаны компьютерам. Вторая причина формализации состоит в том, что такой способ представления информации помогает взглянуть на объект изучения по-новому, и на основе уже имеющихся знаний получить новые знания. Обычно считается, что для глубокого понимания необходимо это нечто объяснить другому человеку. Те, кто занимаются информатикой, перефразировали это так: человек понимает предмет достаточно глубоко, если он может научить этому компьютер.

Требуемая точность или *степень формализации описания* зависит от того, для решения каких теоретических или прикладных задач предназначено формальное описание. Кроме того, на точность формализации языкового описания влияет и потенциальный адресат модели: учебник, грамматика или словарь – это тоже модели, их пользователем является человек, который может быть носителем языка или может изучать язык как иностранный. Эти модели ориентированы на массового потребителя. Степень формализации таких моделей минимальна. Требования, которые к описанию языка

предъявляют профессиональные лингвисты, отличаются от требований «наивного пользователя». Поэтому такие описания обычно более детальны, но все же и их нельзя назвать полностью формализованными.

Если же конечным пользователем модели является компьютер, то здесь степень формализации должна быть максимальной.

Сегодня для создания формальных моделей языка привлекаются исследовательские методы и данные различных наук: математики, статистики, логики, лингвистики. Долгое время считалось, что создавать формальные описания языка могут только математики. Однако первые неудачи (разработки систем автоматического перевода) показали, что язык – гораздо более сложное явление, чем предполагалось изначально. Оказалось, что без участия лингвистов создание формальных моделей языка и их практическая реализация в конкретных системах невозможна.

Большинство исследователей признает междисциплинарный характер формального моделирования в лингвистике. От такого сотрудничества выигрывают и лингвистика, и математика, и информационные технологии. Анализируя естественный язык, математики имеют возможность приложить различные математические методы исследования к исключительно богатому фактическому материалу – текстам, словарям, грамматикам. Лингвисты же получают в свое распоряжение новые методы исследования и способы представления информации: в основе многих формальных описаний лежат математические модели (теория графов, теория конечных автоматов), статистические методы. Математические модели языка помогают объяснить некоторые скрытые от непосредственного наблюдения языковые явления и их свойства. Например, к ненаблюдаемым свойствам можно отнести вероятностные характеристики слова. Поэтому в следующей главе кратко рассмотрим основные математические способы описания естественного языка.

Контрольные вопросы

1. Почему язык можно рассматривать как знаковую систему высокой степени сложности?
2. В чем заключается основное различие между формальным и функциональным подходами к описанию языка?
3. Каковы цели обоих подходов – формального и функционального – и почему их считают взаимодополняющими?
4. Что означает утверждение о системности языка в контексте формального моделирования?
5. Какие свойства языка позволяют применять к нему методы математики и логики?
6. Как функционалисты объясняют устройство грамматики языка и какова роль когнитивных факторов в этом объяснении?
7. Почему формалисты считают возможным описывать язык независимо от контекста его использования?
8. Назовите сильные и слабые стороны формального и функционального подходов.
9. В чем заключается принципиальное различие между понятиями *формальный подход* и *формальные способы представления лингвистической информации*?
11. Какие идеи И.А. Бодуэна де Куртенэ предвосхитили формальный подход к языку?
12. Каковы ключевые идеи Ф. де Соссюра, оказавшие влияние на формальное моделирование языка?
13. Как понятия «парадигматические» и «синтагматические» отношения используются при построении структурных моделей языка?
14. В чем заключалась цель глоссематики Луи Ельмслева и почему она считается одной из первых попыток создания формальной модели языка?
15. Какие идеи американского дескриптивизма и Пражского лингвистического кружка оказались востребованными в формальном моделировании языка?

Практические задания

1. Составьте таблицу сравнения формального и функционального подходов по следующим параметрам:

- объект описания;
- отношение к контексту;
- методы анализа;
- роль семантики;
- представление грамматики.

На основе таблицы сделайте краткий вывод (3-4 предложения): в каких задачах эффективен каждый подход.

2. Выберите одно слово (например, дом, run, table). Опишите его как языковой знак, указав:

- означающее (форму);
- означаемое (содержание);
- тип связи между ними.

Покажите, какие синтагматические и парадигматические отношения это слово имеет в языке.

3. Выберите одно языковое явление (например, слова, содержащие определенную морфему, порядок слов в русском предложении, согласование по числу).

а) Определите минимальные элементы (единицы) системы.

б) Опишите правила их комбинации (синтагматические отношения).

в) Определите оппозиции (парадигматические отношения).

г) Представьте результат в виде простой схемы или таблицы.

4. Выберите одно из понятий, введенных И.А. Бодуэном де Куртенэ, например, морфема или фонема. Покажите, как это понятие может быть выражено в формальной модели (через признаки, оппозиции, правила). Составьте краткое объяснение (до 150 слов),

почему идея Бодуэна можно считать предтечей современного формализма.

5. Рассмотрите следующий фрагмент правил контекстно-свободной грамматики (CFG):

- S → NP VP
- NP → Det N
- VP → V NP
- Det → {the, a}
- N → {student, book}
- V → {reads, sees}

Объясните, какие отношения в терминах Соссюра и структурализма отражают эти правила:

- какие здесь реализуются синтагматические связи;
- какие связи могут считаться парадигматическими;
- к какому типу моделей (формальная, структурная, функциональная) можно отнести данную грамматику.

Глава 4

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

Формальное представление информации о языке предполагает использование жесткой знаковой системы, например, языка математики или логики. Формальные способы описания единиц языка обладают рядом преимуществ: они компактны, наглядны, и обладают возможностью однозначной интерпретации. Формальные описания языка в наибольшей степени пригодны для последующего применения в автоматической обработке естественного языка.

В данной главе описаны некоторые способы математического моделирования, которые используются для представления различных типов отношений между элементами языковой системы: графы, конечные автоматы, признаковые матрицы, формальные языки и грамматики, а также вероятностные модели.

§ 1. Математические и логические способы представления естественного языка: преимущества и недостатки

Формальное представление информации, в том числе языковой, предполагает использование жесткой знаковой системы, например, языка математики или логики. Формальные описания (модели) обладают рядом достоинств:

1) компактность;

2) однозначность и точность интерпретации;

3) наглядность;

4) возможность использования таких описаний в системах автоматической обработки естественного языка.

Естественный язык по своим качественным характеристикам является объектом, который в принципе позволяет создавать формальные описания с применением математических и логических способов моделирования. Формализация становится возможной благодаря следующим свойствам естественного языка:

- на любом уровне языковые выражения могут быть представлены как линейные цепочки (последовательности) символов – фонем, морфем, словоформ, предложений. К цепочкам

применимы математические методы моделирования и способы представления информации.

- естественный язык является сложной системой, элементы которой связаны различными типами отношений (в предложении одновременно реализуются иерархические и линейные связи, в организации лексики языка – иерархические, линейные, сетевые).

В зависимости от целей моделирования и конкретного языкового материала, на котором осуществляется создание модели, исследователи выбирают различные способы представления информации. В зависимости от того, какой именно тип связи (линейный, сетевой или иерархический) находится в фокусе внимания исследователя, выбирается та математическая или логическая модель, которая отражает эти связи наиболее экономным способом.

Формальные модели не лишены недостатков. Сложность создания таких моделей связана в первую очередь со сложностью моделируемого объекта: человеческий язык является многоуровневой системой, которая постоянно развивается и меняется. Многие формальные модели часто опираются на принцип композициональности, согласно которому значение высказывания является функцией значений его частей и способа их соединения. Однако в естественном языке этот принцип постоянно нарушается в идиомах, метафорах и т.д.

Еще одна проблема – многозначность, которая проявляется на всех его уровнях. Поскольку формальные модели не обладают картиной мира (ментальной моделью реальности), на которую опирается человек, сталкиваясь с многозначной единицей и решая, в каком из возможных значений она употребляется в данном контексте, формальным моделям требуются сложные алгоритмы снятия многозначности.

Формальные модели стремятся к контекстной независимости, но смысл высказывания в естественном языке в значительной степени зависит от контекста.

Поскольку язык является иерархически устроенной многоуровневой системой, часто бывает так, что интерпретация элементов на одном уровне зависит от интерпретации элементов на другом, более высоком или более низком уровне. Такие ситуации очень трудно описываются алгоритмически.

Что касается больших языковых моделей (LLM), то успешность их работы на сегодняшнем этапе развития напрямую зависит от объема, качества и репрезентативности данных для обучения. Кроме того, пока до конца непонятно, *как именно* нейросеть приходит к тому или иному выводу, что вызывает вопросы к надежности и валидности данных, которые она предоставляет пользователю.

Наконец, для всех формальных моделей существует так называемая проблема полноты и покрытия: ни одна модель не может охватить все богатство и все возможные конструкции естественного языка. Всегда найдутся языковые единицы, которые являются семантически и грамматически правильными для носителей языка, но «ломают» модель, потому что она не сталкивалась с ними или они не укладываются в ее алгоритмы.

Несмотря на перечисленные недостатки, современные формальные модели способны успешно решать множество задач, связанных с обработкой естественного языка. Далее мы рассмотрим основные математические инструменты, которые используются в формальном лингвистическом моделировании.

§ 2. Теория графов

Граф как способ представления языковой информации (например, информации о структуре предложения) часто используется в формальном лингвистическом моделировании. Два основных свойства графов – *удобство и наглядность* – сделали этот способ представления информации популярным не только в лингвистике, но и в других естественных и гуманитарных науках. Теория графов служит математической моделью для всякой системы, содержащей

бинарное отношение. Бинарность является одним из свойств синтаксических отношений, т.е. в принципе любое предложение можно представить в виде бинарных связей между словоформами, пометив их дугами. При этом в любом предложении бинарные дуги образуют непрерывную последовательность.

Введем ряд понятий, необходимых для представления лингвистической информации с помощью графов. *Графом* называется структура, состоящая из вершин и ребер. Вершины представляют элементы языка, ребра – отношения между этими элементами. Также вершины могут называться узлами, а ребра – связями. Поскольку граф – это топологический, а не геометрический объект, для него важна не форма, а структура: какие вершины и как связаны между собой. Благодаря этому свойству графы удобно использовать для описания взаимосвязей между объектами и внутренние связи в сложных системах.

Математически граф определяется как множество *S* с заданным на нем бинарным отношением *R*. Для обозначения графа используется запись <*S; R*>. Элементы множества *S* являются узлами графа <*S; R*>. Пара узлов <a, b>, для которой имеет место *R* <a, b> (можно записать и как aRb), называется ребром графа. Узел *a* является началом этого ребра, а узел *b* – его концом (рис. 4.1).

Узлы графа, не являющиеся началами никаких ребер, называются *висячими*, а узлы, не являющиеся ни началами, ни концами никаких ребер – *изолированными*. *Путем* в графе называют конечную последовательность вершин, в которой каждая вершина (кроме последней) соединена с какой-либо другой вершиной ребром. *Длиной пути* называют число составляющих его ребер. Двигаясь по определенному пути, можно порождать цепочки символов, например, словоформы, словосочетания, предложения. Именно эта

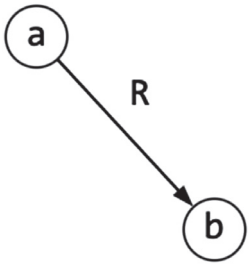


Рис. 4.1. Простейший граф

особенность позволяет использовать графы для представления фонетической, морфологической и синтаксической информации.

Семантическая информация также может быть представлена в виде графа. Часто сферу значений представляют в виде семантической сети – формализма, в узлах которого фиксируются значения единиц, а ребра указывают на существующее между этими значениями семантическое отношение. Небольшой фрагмент семантической сети с узлами и указанием отношений между ними представлен на рис. 4.2.

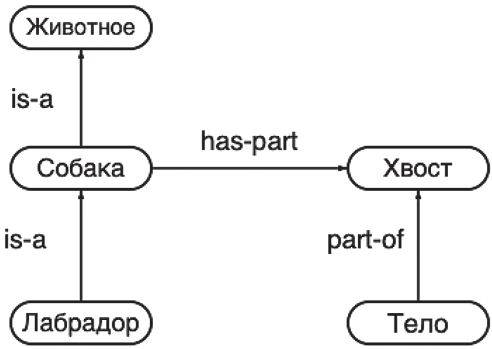


Рис. 4.2. Фрагмент семантической сети

Существует особая разновидность графов, называемая *деревьями*. Чтобы граф мог называться деревом, должны соблюдаться следующие условия:

1) в дереве существует единственный узел, называемый *корнем*, который не является концом никакого ребра;

2) всякий узел этого графа, не являющийся корнем, является концом точно одного ребра;

3) в нем нет петель, т.е. таких путей, концы которых совпадают с началами.

Деревья используются для представления информации о синтаксической структуре предложения. Удобство синтаксических деревь-

ев заключается в том, что такая модель дает наглядное представление об иерархических отношениях элементов внутри предложения. Древовидные структуры также удобны для снятия синтаксической омонимии.

§ 3. Теория конечных автоматов

Теория конечных автоматов разрабатывает математические модели, которые позволяют описывать *пошаговое изменение состояния объекта*. По сути, конечный автомат – это наглядное представление алгоритма работы вычислительного устройства. В лингвистическом моделировании наибольшей популярностью пользуются конечные автоматы – модели, с помощью которых описывается изменение языкового объекта в зависимости от исходных данных и текущего состояния. Число возможных состояний в конечном автомате ограничено.

Любой конечный автомат – это сеть в виде направленного графа, состоящая из узлов и дуг между ними. Узлы называются *состояниями* автомата. Начальный узел называется узлом *исходного состояния*. Помимо этого особо выделяются узлы *конечного состояния*, которых может быть как угодно много. Обычно на схемах узлы изображаются кружками (конечные состояния отмечаются двойным кружком), а дуги – это стрелки, указывающие возможные маршруты переходов от одного узла к другому. Исходное состояние – это узел слева. Движение по автомату, таким образом, происходит слева направо. *Маршрутом* принято называть последовательность переходов от исходного состояния к конечному.

На рис. 4.3 представлен конечный автомат, который позволяет добавлять окончание множественного числа -s к английским существительным. В исходном состоянии алгоритм проверяет, на какой звук оканчивается основа существительного. Если это не [s], [z] или [x], дальнейшее движение идет по маршруту 1 – 2 – 6. На шаге 1 – 2 осуществляется операция конкатенации, на шаге 2 – 6 добавляет-

ся окончание -s. Если ж основа существительного оканчивается на шипящий или свистящий, то движение идет по пути 1 – 3 – 4 – 5 – 6. Для чего нужен этот путь? На шаге 1 – 3 проверяется, действительно ли свистящий или шипящий звук является последним в основе слова, затем добавляется эпентетический гласный [e], затем осуществляется операция конкатенации и, наконец, добавляется показатель формы множественного числа -s.

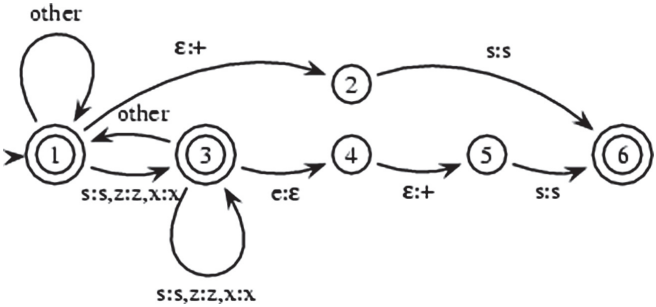


Рис. 4.3. Моделирование формы множественного числа английских существительных с помощью конечного автомата

Ребра конечных автоматов принято помечать символами – одним или парой. Если ребра сети везде помечены только одним символом, то перед нами – конечный автомат. Если разметка сделана с помощью пар символов, то мы имеем дело с конечным преобразователем (finite state transducer). Преобразователь производит переписывание (замену) символов. Пометы над ребрами – это, по сути, условия перехода от одного состояния к другому.

Каждый маршрут кодирует цепочку символов. Если взять все маршруты в совокупности, мы получим язык конечного состояния. С помощью этого языка можно получить все возможные цепочки, двигаясь из узла исходного состояния в любой из узлов конечного состояния.

Например, на рис. 4.4 изображен конечный автомат, который позволяет проанализировать формы русских существительных *стена* и *стрела*. Наличие пар символов над дугами позволяет не только осуществлять анализ словоформ, но и синтезировать словоформы по начальной форме существительных.

Принцип работы конечного автомата состоит в следующем: на вход поступает символ и для него проверяются условия всех маршрутов. Затем выбирается маршрут, условиям которого удовлетворяет данный символ. Движение по автомату происходит до тех пор, пока не будет достигнуто конечное состояние.

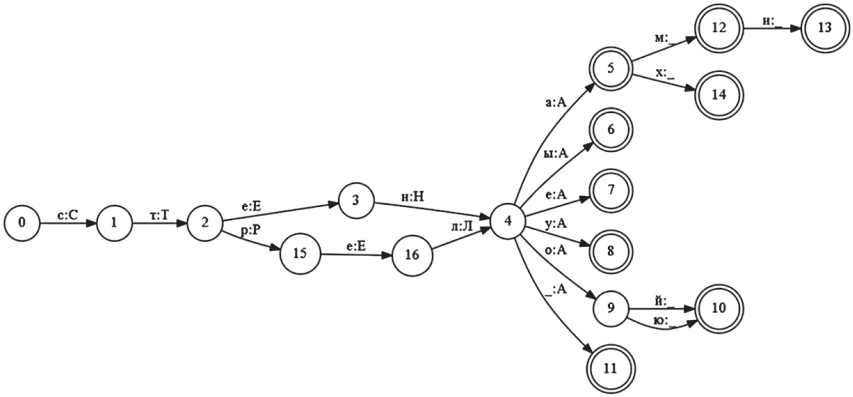


Рис. 4.4. Конечный автомат для существительных *стена* и *стрела*

С помощью конечных автоматов моделируются орфографические и фонотактичекие явления, некоторые аспекты словообразования. Например, конечный автомат может выяснить, содержит ли некоторый текст определенное слово.

Конечные автоматы также удобны для записи информации о лексемах. За счет повторяющихся морфем (аффиксов) слова могут иметь общие маршруты. В то же время даже малейшие различия в

написании слов требуют создания отдельного маршрута, и конечные автоматы позволяют сделать это наиболее экономным способом.

Лексические преобразователи позволяют генерировать и распознавать лексемы, и это особенно удобно при решении морфологических задач. В принципе любой язык конечного преобразователя может содержать бесконечное число упорядоченных пар символов.

§ 4. Формальные языки

Для моделирования явлений естественного языка часто используется особый класс языков, которые называют формальными языками. Это искусственные языки, в которых задаются точные правила построения выражений и их понимания. Формальные языки строятся в соответствии с четкими правилами, чтобы обеспечить непротиворечивое, точное и компактное отображение свойств моделируемого объекта. Очень часто для конструирования формальных языков используется язык математики, поэтому можно сказать, что формальный язык – это обобщенная математическая модель естественного языка.

В отличие от естественных языков, формальным языкам присущи четкие правила семантической интерпретации и синтаксических преобразований знаков. Смысл и значение знаков формального языка не изменяются в зависимости от каких-либо прагматических обстоятельств (например, от контекста). Формальные метаязыки имеют несколько преимуществ. Основные преимущества – это наглядность и компактность их выражений. Формальные средства в грамматике играют ту же роль, что формулы в химии: описания синтаксической структуры, сделанные на формальном языке, значительно выигрывают в краткости.

В то же время различия между естественными и формальными языками приводят к тому, что прямое применение формальных языков к естественному языку оказывается невозможным. В отличие от формального языка, любой естественный язык не следует

предварительно задуманной строгой концепции: он усваивается ребенком и развивается в обществе через использование в коммуникации, а не благодаря правилам. А вот входящие в формальные языки символы и правила их соединения стремятся определять математически строго.

Важно помнить, что формальные языки могут использоваться и активно применяются для исследования и описания естественных языков, но полноценно описать ни один естественный язык с помощью формального языка практически невозможно. Это одна из причин существования разнообразных формальных лингвистических моделей.

Различия между естественными и формальными языками представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Различия между естественными и формальными языками

	Естественные языки	**Формальные языки**
Соотношение формы и значения символов	Существование полисемии, синонимии, омонимии	Однозначное соответствие формы и значения символа, ведущее к однозначности интерпретации высказывания
Возможность пополнения словарного состава	Естественное изменение лексического состава	Пополнение символами по взаимной договоренности пользователей
Характер правил	Нечеткие правила объединения символов в цепочки	Строгие правила объединения символов в цепочки
Возможность интерпретации выражений	Принципиальная некомпозициональность многих языковых выражений[1]	Подчинение принципу композициональности

[1] Более подробно о принципе композициональности см. главу 5.

Формальные языки применяются для моделирования синтаксических явлений. Например, для изображения структуры предложения могут использоваться особые метаязыки – наборы специальных символов и правил их соединения. Такие метаязыки отличаются от естественного языка, поскольку с их помощью описываются не конкретные синтаксические единицы или конкретные виды отношений между ними, а обобщенные (абстрактные) единицы и отношения.

Любой формальный язык включает в себя *алфавит*, т.е. непустое конечное множество символов, из которых строятся все выражения данного языка. Например, некоторый алфавит Σ может состоять из символов *a, b, c, d, e*. В таком случае он может быть записан следующим образом: $\Sigma = \{a, b, c, d, e\}$. Затем описывается *синтаксис* данного языка, т.е. совокупность правила построения выражений на этом формальном языке.

Иногда символы, входящие в алфавит формального языка, называют не «символ», а «буква», но при этом следует помнить, что к ним относят как буквы алфавитов естественных языков, так и скобки, а также специальные знаки и символы.

Из букв по заданным правилам можно составлять цепочки (последовательности). Простейшее правило любого формального языка состоит в том, что любую конечную последовательность символов, которая не нарушает правила синтаксиса данного языка, можно считать ***словом***. Например, одним из важнейших алфавитов с точки зрения информатики является алфавит, который состоит всего из двух символов (букв) – «0» и «1». Всякая конечная последовательность нулей и единиц в этом языке является словом.

Таким образом, формальный язык – это все множество цепочек неограниченной длины, составленных из символов алфавита по правилам данного языка. Если язык является конечным, то можно просто перечислить все возможные цепочки (хотя такая работа не имеет особого смысла). Если же язык бесконечен, то его можно задать при помощи формальных грамматик, речь о которых пойдет ниже.

§ 5. Формальные грамматики. Классификация формальных грамматик

Когда мы говорим о грамматике, обычно мы представляем себе увесистую книгу, в которой изложены «все правила» конкретного языка. Действительно, грамматика – это набор правил, по которым мы строим выражения на языке, однако традиционная, «человеческая» грамматика не является формальной моделью языка; кроме того, она не подходит для решения задач по автоматической обработке естественного языка.

Как можно описать грамматику естественного языка, чтобы ее «понимал» компьютер? Самая простая грамматика – это список всех возможных предложений, построенных в соответствии с правилами данного языка. Однако хорошо известно, что предложения естественного языка обладают способностью к неограниченному усложнению. Получается, что создание конечного списка предложений – задача в принципе невыполнимая. Поэтому возможен другой способ описания грамматики – перечисление схем или образцов предложений. Именно такой способ используется в привычных грамматиках, ориентированных на человека. Однако такому способу описания грамматики языка недостает точности; кроме того, он непригоден для автоматической обработки естественного языка.

Для математически строгого описания синтаксических закономерностей формального языка используются формальные грамматики. *Формальная грамматика* – это совокупность правил, которая математически строго задает формальный язык, т.е. все возможное множество конечных последовательностей символов. Иными словами, формальная грамматика является способом описания формального языка.

Существует несколько разновидностей формальных грамматик. В зависимости от того, направлена ли грамматика на анализ или синтез цепочек символов, различают *распознающие* и *порождающие* грамматики. Распознающие грамматики – это, по сути, алгоритмы, которые позволяют определить, принадлежит ли данная последовательность символов (цепочка) языку.

Порождающие грамматики задают правила, по которым строятся выражения на формальном языке. Математически любая порождающая грамматика может быть определена как четверка, состоящая из:

1) основного алфавита Σ, который состоит из терминальных (т.е. конечных) символов. Такие символы, как правило, обозначаются маленькими латинскими буквами, например, *a, b, c, ..., z*. Основной алфавит совпадает с алфавитом того формального языка, который задается данной грамматикой;

2) вспомогательного алфавита N, в котором содержится набор нетерминальных символов (понятий), при этом алфавиты Σ и N не пересекаются друг с другом. Нетерминальные символы принято обозначать либо заглавными латинскими буквами, например, *A, B, C, ... Z,* либо цепочкой символов, заключенной в угловые скобки, например, ⟨глагольная группа⟩. Нетерминальные символы используются на промежуточных уровнях порождения цепочек;

3) одного символа из вспомогательного алфавита, который принято называть *начальным.* Этот символ (например, S) обозначает множество тех языковых объектов, на описание которых направлена порождающая грамматика. Иными словами, любая цепочка может быть обозначена этим символом;

4) конечного множества правил построения высказываний P.

В цепочки символов могут выходить как терминальные, так и нетерминальные символы. Задача порождающей грамматики – на основе имеющихся правил заменить все нетерминальные символы на терминальные, чтобы в результате получилось высказывание на данном языке.

В порождающей грамматике правила имеют вид $\alpha \rightarrow \beta$. В соответствии с данным правилом, в цепочке отыскивается левая часть правила, т.е. α, после чего она заменяется на новую цепочку, в которой на месте α стоит β. Такая процедура замены нетерминальных символов на терминальные по определенным правилам называется *выводом*.

В левой части правила записывается нетерминальный символ, в правой части – произвольная цепочка из терминальных и нетерминальных символов, с помощью которых раскрывается смысл понятия, указанного в левой части. Правая и левая части разделяются стрелкой, которая читается «*это есть*».

Приведем пример правила, описывающего структуру простого предложения.

Предложение состоит из двух групп: группы подлежащего, за которой следует группа сказуемого:

1) $S \rightarrow NP\ VP$

Данное правило можно далее усложнить, введя два правила для группы подлежащего:

а) $NP \rightarrow N$.

б) $NP \rightarrow Det\ NP$.

Во втором правиле нетерминальный символ NP встречается как в левой, так и в правой части правила. Перед нами пример рекурсии – этим понятием обозначается способность группы включать в себя другие группы, относящиеся к той же категории. Рекурсия – важная характеристика процедуры вывода, поскольку она позволяет строить сколь угодно длинные высказывания. В данном случае второе правило позволяет добавлять любое количество определений к подлежащему.

Если в грамматике имеется несколько правил с одинаковой левой частью, то их можно свести в одну запись, соединив все правые части при помощи вертикальной черты (она читается как «или»):

2) $NP \rightarrow N \mid Det\ NP$

Для порождения высказывания введем еще ряд правил:

3) $VP \rightarrow V\ NP\ PP$;

4) $PP \rightarrow P\ NP$.

$N \rightarrow$ *лодка* | *карета;*

$V \rightarrow$ *катится* | *плывет;*

$Det \rightarrow$ *зеленая* | *белая* | *большая;*

$PP \rightarrow$ *по дороге* | *по реке.*

Процедура вывода осуществляется следующим образом: выделяется начальный нетерминальный символ, из которого выводятся все последующие цепочки языка. В нашем примере таким нетерминальным символом является *S*. На первом шаге к нему применяют одно из правил, левая часть которого совпадает с данным символом. Результатом применения правила становится замена символа на правую часть правила. Последовательность таких замен называется *выводом*. Вывод закончен, когда в цепочке не останется ни одного нетерминального символа.

Рассмотрим пример вывода. Используем единственное правило для нетерминального символа *S*:

S → NP VP.

Символ *NP* также относится к нетерминальным, поэтому к нему применяется второе правило:

NP VP → Det NP VP.

Продолжая вывод, получаем:

Det NP VP → зеленая NP VP → зеленая N VP → зеленая карета V NP PP → зеленая карета катится PP → зеленая карета катится по дороге.

На последнем шаге вывод завершен, так как все нетерминальные символы оказались заменены на терминальные. Аналогично по этим правилам можно построить и другие варианты вывода из нетерминального символа *S,* например:

Большая белая лодка плывет по реке.

Карета плывет по дороге.

Белая зеленая карета катится по дороге.

Два последних примера показывают, что данная грамматика никак не учитывает смысл фразы.

Классификация формальных грамматик. Иерархическая классификация формальных грамматик была предложена Н. Хомским. В основании иерархии лежат вид правил и зависимость правила от контекста. Хомский выделил 4 типа формальных грамматик. Каждый последующий тип является подмножеством предыдущего.

Тип 0. Неограниченные (рекурсивно перечислимые) грамматики – это грамматики, в которых возможны любые правила, поэтому они считаются наиболее мощным типом грамматик. Неограниченными они называются потому, что не имеют никаких ограничений на форму, кроме того, что левая часть правила не может быть пустой строкой. Общий вид правил: $x ::= y$, где x – любая цепочка, в которой содержится хотя бы один нетерминальный символ, а y – любая цепочка символов. Данный тип грамматик не имеет никаких ограничений на применение правил. Также известно, что в силу своей сложности такие грамматики не имеют практического применения.

Тип 1. Контекстно-зависимые грамматики – это грамматики, в которых правила имеют более сложный вид: левая часть правила может содержать один нетерминальный символ, окруженный контекстом, который понимается как некоторая последовательность символов, в том же виде присутствующая в правой части; сам нетерминальный символ заменяется непустой последовательностью символов в правой части. Вид правила в контекстно-зависимой грамматике – $\alpha A\beta \rightarrow \alpha B\beta$.

Такая запись означает, что α и β являются левым и правым контекстом для нетерминального символа A и именно они определяют, будет ли символ A заменен на символ B. Формальный язык, который используется в таких грамматиках, называется контекстно-зависимым языком. Контекстно-зависимая грамматика была предложена Хомским в 1950-х годах для описания синтаксиса естественного языка, где очень часто правильность употребления той или иной языковой единицы (например, словоформы) зависит от контекста.

Тип 2. Контекстно-свободные грамматики (КСГ) – левая часть правила состоит из одного нетерминального символа, которые подлежит замене вне зависимости от контекста, в котором он встречается. Общий вид правила – $A \rightarrow B$, где B – любая (возможно, пустая) строка терминальных и/или нетерминальных символов. В левой части правила допустимы только нетерминальные символы.

КСГ были использованы лингвистами для описания естественных языков. В таких грамматиках составные части цепочки обозначаются либо буквами, которые не входят в алфавит языка, либо названиями понятий – метасимволами или *нетерминалами*, заключенными в угловые скобки. Вот пример таких нетерминалов: *предложение, подлежащее, сказуемое, группа сказуемого, определение, обстоятельство*. Бесконтекстность грамматики позволяет простым способом выразить в ее правилах разбиение грамматических единиц на классы.

Сфера применения КСГ – определение грамматической структуры цепочки на этапе грамматического анализа.

Тип 3. Регулярные грамматики – это более простые грамматики, эквивалентные конечным автоматам. Фактически это не порождающие, а распознающие грамматики. Правила могут быть только двух видов:

- $A \rightarrow \alpha B$ (это так называемая праворегулярная грамматика) или $A \rightarrow B\alpha$ (это леворегулярная грамматика),
- $A \rightarrow \alpha$,

где A, B – нетерминальные символы, α – терминальный символ.

Применительно к лингвистическому моделированию регулярная грамматика может служить инструментом (шаблоном) текстового поиска или анализа последовательности звуков.

Формальные грамматики задают строгие правила построения выражений, но они никак не моделируют второй важнейший аспект языка – значение. Чтобы отразить взаимодействие грамматической структуры с тем значением, которое она кодирует, используются другие модели: матрицы атрибутов и значений (признаковые матрицы), языки математической логики.

§ 6. Признаковые матрицы

Для языковых элементов принципиально важной является связь формы с содержанием. Для моделирования этой связи в лингвистических моделях используются признаковые матрицы (AVM –

attribute-value matrix). Матрицы удобны тем, что они позволяют учитывать не только формальный, но и содержательный аспекты существования языковых единиц.

Моделирование взаимодействия формы и значения включает в себя два аспекта. Первый, формальный аспект моделирования, заключается в перечислении всех элементов, входящих в цепочку. Содержательный аспект – это описание свойств элементов. В математике существует структура, которая позволяет описывать набор элементов с присущими им характеристиками: эта структура называется массивом. Массив представляет собой список, содержащий значения данных. Матрица является примером двумерного массива.

Матрицы являются удобным способом отразить взаимодействие синтаксиса и семантики высказывания. Для описания языкового выражения формируется структура признаков, которая имеет вид множества пар вида «атрибут – значение». Атрибут – это конкретный признак (например, грамматический). Значение – это его конкретная реализация. Признак может иметь несколько вариантов значений. Например, атрибут «число» может иметь следующие значения: «единственное», «множественное», «двойственное». Сложное значение может также быть описано как набор пар «атрибут – значение».

Для более наглядного представления используются матрицы со скобочной записью. Скобочная запись оказывается удобной, поскольку она позволяет наглядно показать не только внешнюю, но и внутреннюю структуру фразы, а также включить весь массив необходимой информации о составляющих фразу элементах, т.е. о словах. В общем виде матрица признаков выглядит следующим образом:

$$\begin{bmatrix} l_1 & v_1 \\ l_2 & v_2 \end{bmatrix}$$

где $l_1 \ldots l_n$ – это имена признаков, а $v_1 \ldots v_n$ – соответствующие им значения, например:

$$\begin{bmatrix} NUM & SG \\ PERS & 3^{rd} \end{bmatrix}$$

В данной матрице отражена информация о том, что некоторая единица высказывания обладает признаками числа (*NUM*) и лица (*PERS*), и эти признаки принимают значение «единственное» (*SG*) и «третье» (3^{rd}) соответственно. Таким образом, матрица признаков и значений имеет две колонки: одна содержит имена признаков (атрибутов), а вторая – их конкретные значения.

Можно усложнить матрицу, вложив в нее еще одну матрицу. Вся структура становится подобна матрешке, например:

$$\begin{bmatrix} category & noun\ phrase \\ agreement & \begin{bmatrix} NUM & SG \\ PERS & 3^{rd} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Здесь имеются два признака (атрибута): *категория* (*category*) и *согласование* (*agreement*). Атрибут *категория* принимает конкретное значение *именная группа* (*noun phrase*), а атрибут *согласование* имеет более сложную структуру и описывается другой вложенной структурой признаков, внутри которой есть два атрибута (число и лицо) и два конкретных значения (единственное число и 3-е лицо).

Матрица может иметь еще более сложный вид в том случае, когда значения нескольких признаков сами оказываются признаковыми структурами. Например, для глагола *reads* матрица может выглядеть следующим образом (рис. 4.5):

Данная матрица отражает сочетание семантических и синтаксических признаков глагола *read*. Признак SYNSEM, находящийся на вершине признаковой иерархии, включает в себя информацию о синтаксических и семантических свойствах выражения. В данном случае значением признака SYNSEM является другая сложная при-

знаковая структура, которая включает в себя и синтаксические, и семантические признаки. Синтаксические признаки определяют лексему *reads* как спрягаемый глагол (на это указывает признак VFORM, принимающий в данном случае значение *fin*, т.е. *личная форма*). Помимо указания на личную форму матрица содержит указание на то, что эта форма глагола сочетается с подлежащим в форме третьего лица единственного числа (запись SUBJ NP [*nom, 3sing*]), а также с дополнением, структура которого – именная группа (запись COMPS <NP *f*>).

$$\begin{bmatrix} word & & \\ PHONOLOGY & < reads > & \\ SYNSEM & \begin{bmatrix} HEAD & \begin{bmatrix} verb & \\ VFORM & fin \end{bmatrix} \\ SUBJ & < NP\left[nom, 3sing\right]^{1} > \\ COMPS & < NP\ f > \\ CONT & \begin{bmatrix} read-rel & \\ ACTOR & 1 \\ UNDERGOER & \boldsymbol{f} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Рис 4.5. Признаковая матрица для словоформы *reads*

С помощью матриц можно описывать не только свойства отдельных лексем, но и семантические и синтаксические свойства предложений, но в таком случае матрица может быть достаточно громоздкой.

§ 7. Геометрические и векторные модели

Использование геометрических и векторных моделей для моделирования естественного языка основано на идее, что *значение слова определяется его окружением* (дистрибуцией). Из этого следует, что значение слова можно приблизительно описать через контексты, в которых оно встречается с определенной частотой. Второе следствие из этой идеи – если два слова появляются в похожих контекстах, они, скорее всего, семантически близки.

Исторически и концептуально развитие геометрических и векторных моделей шло от более простых геометрических (пространственных) моделей к более сложным векторным (такие модели учитывают направление и величину), а затем к их современной реализации в виде векторных семантических пространств (word embeddings).

В геометрических моделях слова представляются как точки в многомерном пространстве размерности N, где N – число слов в словаре. Ключевая идея состоит в том, что расстояние между точками в пространстве является мерой семантической близости. Само пространство организовано так, что каждое измерение (ось координат) представляют собой некоторый семантический признак или контекст.

В современных векторных моделях каждое слово или предложение представляется не как набор координат, а как ***вектор*** *в многомерном пространстве*. Далее алгоритм работает с этими представлениями, высчитывая расстояния и углы между векторами. Похожие слова имеют близкие векторы, а семантические связи описываются в терминах направлений и кластеров векторов в пространстве. Таким образом, задача сравнения значений сводится к сравнению соответствующих векторов.

Векторная модель создается на базе больших корпусов текстов. Для слова выбирается множество контекстов с учетом частоты упо-

требления и синтаксического окружения и подсчитывается частота совместной встречаемости этого слова с другими словами. Предположим, у нас есть таблица, в которой ведется такой подсчет:

Таблица 4.2

Частота совместной встречаемости существительных кошка, собака, автомобиль и автобус со словами домашнее, животное, транспорт, ездить

Слово	*Домашнее*	*Животное*	*Транспорт*	*Ездить*
Кошка	3	4	0	0
Собака	4	5	0	0
Автомобиль	0	0	5	6
Автобус	0	0	4	5

Теперь каждое слово можно представить как вектор из этих чисел:

- *кошка* → (3, 4, 0, 0)
- *собака* → (4, 5, 0, 0)
- *автомобиль*→ (0, 0, 5, 6)
- *автобус* → (0, 0, 4, 5)

Мы получили очень простую геометрическую модель: 4-мерное пространство и слова – точки / векторы в нем.

Слова, встречающиеся в схожих контекстах, имеют схожие значения, их семантическая близость оказывается выражена геометрически, например, по косинусу угла между двумя векторами. Значение косинусного сходства варьируется от –1 до 1. Если значение равно 1, это означает, что векторы указывают в абсолютно одинаковом направлении, т.е. слова идентичны или очень близки по смыслу (например, *кошка* и *кот*). Значение, равное 0, указывает на ортогональность векторов и отсутствие какой-либо семантической связи между словами. Если косинусное сходство равно –1, это означает,

что векторы направлены противоположно, а слова являются антонимами. Мера косинусного сходства выражается по формуле

$$\cos(w_1, w_2) = \frac{A \cdot B}{\|A\|\|B\|} = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} A_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} B_i^2}},$$

где A и B – это векторы, представляющие сравниваемые слова, $A \cdot B$ (числитель) – это скалярное произведение векторов A и B, $\|A\|\|B\|$ (знаменатель) – евклидовы нормы (т.е. длины) векторов A и B, которые рассчитываются как квадратный корень из суммы квадратов их компонентов.

В нашем примере скалярное произведение для слов *кошка* и *собака* равно $3 \cdot 4 + 4 \cdot 5 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 = 12 + 20 = 32$, длина вектора для слова *кошка*

$$\|кошка\| = \sqrt{3^2 + 4^2} = \sqrt{9 + 16} = \sqrt{25} = 5,$$

длина вектора для слова *собака*

$$\|собака\| = \sqrt{4^2 + 5^2} = \sqrt{16 + 25} = \sqrt{41},$$

и на следующем шаге можно вычислить косинусное сходство:

$$\cos(кошка,\ собака) = \frac{32}{5 \cdot \sqrt{41}} \approx \frac{32}{5 \cdot 6,4} \approx \frac{32}{32} \approx 1,$$

т.е. векторы слов *кошка* и *собака* в нашем примере направлены практически одинаково, а слова с точки зрения их функционирования очень близки.

В реальной задаче при работе с большим корпусом матрица для слов с учетом всех контекстов будет содержать тысячи измерений, что сделает ее огромной. Частоты можно заменить весами, например, tf–idf (term Frequency – Inverse Document Frequency) или PPMI (positive pointwise mutual information) и др. Можно применить и другие методы снижения размерности, например, SVD/LSA, чтобы сделать пространство более «гладким» и устойчивым к шуму, однако

принцип останется тем же: слово будет представляться как вектор, а его семантика будет моделироваться как положение этого вектора в пространстве.

Сфера применения геометрических и векторных моделей – это прежде всего семантический анализ корпусов текстов. Примеры успешной реализации таких моделей – Word2Vec, GloVe, FastText (векторные представления слов); BERT, GPT (контекстуальные эмбеддинги).

§ 8. Теоретико-информационные и вероятностные модели

Основная идея моделей этого типа – ***вероятностное описание языка***, т.е. оценка вероятность появления слова, последовательности или структуры. В 1948 году Клод Шеннон высказал идею о том, что язык можно моделировать как вероятностный процесс, порождающий последовательности символов (например, звуков, букв или слов). Это позволило применить к языку аппарат теории информации и теории вероятностей. Порождение высказывания моделируется как последовательный выбор следующей языковой единицы, причем этот выбор не свободен – он ограничен грамматикой языка и контекстом. Задача модели сводится к оценке вероятности каждого возможного выбора. Информационно-теоретические модели позволяют измерять эту вероятность, а вероятностные модели – предсказывать появление следующей языковой единицы, исходя из имеющихся данных.

Марковские модели – пример вероятностной модели, основное положение которой состоит в том, что будущее состояние системы (следующее слово в последовательности) зависит только от ее текущего состояния (от ограниченного количества предыдущих слов) и не зависит от того, как система пришла в это состояние. Проще говоря, это модели, которые предсказывают будущее, зная только настоящее. Для лингвистики это означает обращение к вероятностным закономерностям, наблюдаемым в больших текстовых данных (кор-

пусах). Вместо того чтобы говорить «так говорить можно, а так – нет», марковские модели позволяют оценить вероятность появления некоторой последовательности слов или букв.

Идея предсказания появления следующего элемента на основе данных об уже имеющихся элементах высказывания реализована в модели n-граммов. N-грамм (также n-грамма) – это последовательность из N единиц (токенов). Модель n-граммов предполагает, что вероятность слова зависит только от (n – 1) предыдущих слов.

N-граммы могут быть описаны следующими формулами:

- Униграмм (n = 1): P(w) – это просто частота слова в корпусе без учета контекста (например, *язык, модель*). Для униграмма память равна нулю.
- Биграмм (n = 2): $P(w_i \mid w_{(i-1)})$. Биграмм учитывает зависимость текущего слова w_i от одного предыдущего слова $w_{(i-1)}$, например, *формальное моделирование*. Для биграммов память = 1 слово.
- Триграмм (n = 3): $P(w_i \mid w_{(i-2)}, w_{(i-1)})$. Это комбинация из трех слов, например, *моделирование естественного языка*. Триграмм учитывает зависимость текущего слова w_i от двух предыдущих слов $w_{(i-2)}$ и $w_{(i-1)}$ и имеет память 2 слова.

Таким образом, общая формула для N-грамма отражает марковское свойство: вероятность слова зависит только от последних (n – 1) слов, а не от всей истории, и выглядит следующим образом:

$P(w_i \mid w_{(i-N+1)}, \ldots, w_{(i-1)})$.

В качестве простейшего примера рассмотрим биграммы для корпуса, в котором содержится два предложения: *Кот ест рыбу. Кот спит.*

P (ест | кот) = count (кот, ест) / count (кот) = 1 / 2 = 0,5
P (спит | кот) = 1 / 2 = 0,5
P (рыбу | ест) = 1 / 1 = 1

N-граммы применяются для изучения лексической сочетаемости, для предсказания следующего слова на основе имеющейся цепочки слов, а также для проверки правописания.

Идея марковского свойства также используется в скрытых марковских моделях (Hidden Markov Models / HMM) – это математическая модель, в которой мы наблюдаем не сам процесс, а его следы. Эта модель подходит для задач, где есть скрытая структура (например, части речи или синтаксические деревья), генерирующая наблюдаемую последовательность (слова).

Формально HMM задается пятеркой:

$S = \{s_1 \ldots s_n\}$ – множество скрытых состояний (например, теги частей речи: NOUN, VERB, ADJ).

$O = \{o_1 \ldots o_m\}$ – словарь, включающий множество наблюдений (слов).

A – матрица перехода из состояния *i* в состояние *j*; $A=\{a_{ij}\}$, $a_{ij} = P(s_{t+1} = j \mid s_t = i)$.

B – вероятности эмиссии (генерации наблюдений) $b_j(o) = P(O_t = o \mid S_t = j)$.

π –начальные вероятности состояний $\pi_i = P(S_1 = i)$.

Несколько упрощая ситуацию, алгоритм действия модели можно описать следующим образом: на начальном шаге модель находится в состоянии s_1 и генерирует слово *w*. На каждом последующем шаге модель находится в состоянии s_t и генерирует слова с вероятностью $P(s_{t+1} \mid s_t)$.

С помощью скрытых марковских цепей решаются разнообразные задачи, связанные с синтагматическим поведением языковых единиц в тексте. Марковские модели – это необходимый мост между классической структурной лингвистикой и современной эпохой нейросетевых языковых моделей. Они заложили основу *статистической парадигмы* в формальном моделировании естественного языка. Марковские модели демонстрируют, что даже простые модели локальных зависимостей позволяют решать многие практические задачи с высокой точностью.

В целом вероятностные модели эффективны для описания вариативности и неоднозначности естественного языка. Вероятностный и информационный подходы позволяют моделировать частотность и вероятности языковых единиц и конструкций, решать задачи выбора правильного разбора, частеречной разметки, машинного перевода, распознавания речи, автодополнение текста и т.д.

Теоретико-информационные и вероятностные модели сместили фокус с категоричных правил («так можно, а так нельзя») на градуальные предпочтения («так бывает чаще, а так – гораздо реже, но возможно»).

§ 9. Интеграция моделей

Естественный язык не поддается описанию одной моделью. Каждая математическая модель охватывает какой-то *отдельный аспект* – структуру, смысл, вероятности, динамику, контекст. Поэтому современные системы комбинируют формальные, вероятностные и нейросетевые принципы, чтобы добиться максимальной ***полноты и адекватности*** описания.

Обобщая, мы можем говорить о том, что современные подходы объединяют несколько типов моделей:

- грамматики для описания структуры предложений,
- вероятности для оценки вариативности текста,
- графы для моделирования отношений между языковыми единицами внутри высказывания,
- векторы для моделирования семантики слов,
- логические модели для моделирования семантики высказывания (о логических моделях см. Главу 5).

Сводная таблица 4.2 показывает, какие классы математических моделей используются для формального и вычислительного описания разных уровней естественного языка.

Таблица 4.2

Применение математических моделей для моделирования различных уровней естественного языка

Уровень языка	Тип математической модели	Основные методы / формализм	Примеры
Фонология	Регулярные и конечные автоматы	Теория автоматов, графы переходов	Модели фонологических правил, транскрипторы речи
Морфология	Регулярные выражения, марковские модели	Морфемные разборы, вероятностные цепи	Сегментаторы, морфологические анализаторы
Синтаксис	Формальные грамматики (CFG, TAG, HPSG)	Теория множеств, правила порождения	Парсеры, грамматики Хомского, LFG
Семантика	Логико-семантические модели	Логика предикатов, λ-исчисление	Монтегю-грамматика, формальная семантика
Лексика	Векторные и статистические модели	Линейная алгебра, теория вероятностей	Word2Vec, GloVe, BERT
Дискурс	Динамические и вероятностные модели	Марковские процессы, RNN, Transformers	BERT, GPT, LSTM-сети

Эта таблица демонстрирует, что разные уровни языка требуют разных математических аппаратов: от конечных автоматов и грамматик до вероятностных и нейронных моделей. Современные системы (например, GPT или BERT) объединяют несколько таких подходов, создавая гибридные модели для комплексного описания языка.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные преимущества формального (математического) описания естественного языка?

2. Какие свойства естественного языка делают возможным его формализацию с помощью математических методов?

3. Перечислите основные недостатки и проблемы, с которыми сталкиваются формальные модели при описании естественного языка. Приведите примеры таких проблем.

4. Как вы понимаете утверждение, что современные формальные модели (например, LLM) стремятся к интеграции различных математических подходов? Приведите примеры из таблицы 4.2.

5. Граф как математическая структура состоит из двух основных элементов. Назовите их и объясните, что они могут моделировать в лингвистике.

6. В чем состоит ключевое удобство графов для лингвистического моделирования с точки зрения их математических свойств?

7. Что такое синтаксическое дерево и каким условиям должен удовлетворять граф, чтобы называться деревом?

8. Приведите пример лингвистического объекта или явления (помимо синтаксической структуры), которое можно представить в виде семантической сети.

9. Для моделирования какого типа лингвистических явлений (на каком уровне языка) чаще всего используются конечные автоматы?

10. Сформулируйте основные различия между естественным и формальным языками по следующим критериям: а) соотношение формы и значения, б) характер правил, в) пополнение словарного состава.

11. Что такое алфавит и синтаксис формального языка?

12. Дайте определение порождающей формальной грамматики. Из каких четырех компонентов она состоит?

13. В приведенном в тексте примере порождающей грамматики (S → NP VP и т.д.) найдите правило, демонстрирующее рекурсию. Объясните, почему рекурсия является важным свойством для моделирования естественного языка.

14. В чем состоит ключевое различие между контекстно-свободными и контекстно-зависимыми грамматиками с точки зрения вида

их правил? Какое свойство естественного языка пытаются учесть контекстно-зависимые грамматики?

15. Какой тип грамматик в иерархии Хомского является наиболее мощным и какой – наиболее ограниченным?

16. Какую фундаментальную лингвистическую проблему призваны решать признаковые матрицы? Какова базовая структура такой матрицы?

17. На каком ключевом лингвистическом принципе основаны геометрические и векторные модели? Сформулируйте этот принцип.

18. Как, используя векторное представление слов можно количественно измерить их семантическую близость? Назовите меру и объясните, как интерпретировать ее значение (например, 1, 0, –1).

19. Какая основная практическая проблема возникает при создании векторных моделей на основе больших корпусов текстов, и какие методы используются для ее решения?

20. Что представляют собой *n*-граммы и скрытые марковские цепи? Для решения каких задач они используются в автоматической обработке текста?

Практические задания

1. Возьмите простое предложение: «Осенний ветер гонит по земле опавшую листву». Постройте граф зависимостей для этого предложения. Подпишите ребра типами связи. Преобразуйте этот граф в дерево непосредственно составляющих. Объясните, почему дерево является частным случаем графа и какие условия дерева здесь выполняются.

2. Создайте схему конечного автомата, который моделирует образование формы родительного падежа множественного числа для существительных «окно» → «окон» и «стол» → «столов».

Определите состояния (например: «Начало», «Основа», «Проверка окончания», «Добавление суффикса», «Конец»).

Продумайте условия переходов (например: «если основа оканчивается на согласный, перейти в состояние «Добавление -ов»). Нарисуйте схему автомата с состояниями и помеченными переходами.

3. Напишите фрагмент контекстно-свободной порождающей грамматики для крошечного языка, который порождает только два корректных предложения: «*Мама мыла раму*» и «*Папа читает газету*».

а) Определите терминальные (слова) и нетерминальные символы (S, NP, VP, N, V и т.д.).

б) Запишите набор правил вывода (например, S → NP VP; NP → N; VP → V NP; N → мама | папа | раму | газету; V → мыла | читает).

в) Покажите процедуру вывода для одного из предложений, последовательно заменяя нетерминалы.

г) Почему эта грамматика не сгенерирует некорректную цепочку «*Раму мыла мама*» в исходном виде? Как это можно исправить, не расширяя словарь?

4. Составьте признаковую матрицу для глагола «*пишут*» в предложении «*Они пишут письмо*». Матрица должна включать разделы (атрибуты) как минимум для:

- фонологии/орфографии (сама словоформа).
- морфологии (часть речи, вид, время, лицо, число).
- синтаксиса (валентность глагола).

Оформите матрицу в виде вложенной структуры со скобочной записью.

5. Даны три слова: *врач*, *доктор*, *молоток*. Представьте, что у вас есть микро-корпус из 3 документов, где частоты совместной встречаемости с четырьмя контекстными словами следующие:

Слово	*лечить*	*оперировать*	*забивать*	*инструмент*
врач	5	3	0	0
доктор	4	4	0	0
молоток	0	0	6	4

а) Представьте каждое слово как вектор в 4-мерном пространстве.

б) Рассчитайте косинусное сходство между векторами (врач, доктор) и (врач, молоток). Что говорят полученные результаты о семантической близости?

6. Дан микро-корпус из двух предложений: «Серый кот спит» и «Рыжий кот ест». Составьте таблицу всех биграммов и их частот в корпусе.

Рассчитайте вероятности для:

P («кот» | «серый»)

P («спит» | «кот»)

P («рыжий кот»)

7. Вам необходимо решить задачу автоматического определения рода существительного по контексту. Предложите, как можно было бы подойти к решению этой задачи, используя два разных математических аппарата из главы (например, конечный автомат и векторную модель). Кратко опишите, как будет выглядеть модель в каждом случае, в чем заключается преимущество каждого подхода для этой конкретной задачи и в чем – их главные недостатки?

8. Найдите в тексте главы или придумайте самостоятельно пример языкового явления, которое, по вашему мнению, с большим трудом поддается описанию любой формальной моделью из рассмотренных.

а) Опишите это явление (например, живая метафора, ирония, сложный диалогический контекст).

б) Попробуйте объяснить, почему его сложно смоделировать с помощью грамматик, графов, автоматов или вероятностных моделей. Укажите на какой принципиальный недостаток формальных моделей это указывает.

в) Предположите, какой комбинированный или иной подход (возможно, упомянутый в конце главы) мог бы с этим справиться.

Глава 5

ЯЗЫКИ ЛОГИКИ В ЛИНГВИСТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

В этой главе мы рассмотрим логические основы формального моделирования естественного языка. Основное внимание будет уделено логике как инструменту представления знаний, необходимому для моделирования не только грамматической структуры, но и смыслового содержания предложений. Логические языки существенно отличаются от формальных грамматик тем, что помимо синтаксиса, они обладают формально заданной семантикой, основанной на условиях истинности высказываний относительно возможных миров.

В главе описываются основные логические формализмы, применяемые в лингвистике. Пропозициональная логика представлена как средство моделирования логических связей между целыми высказываниями, а логика первого порядка – как более мощный аппарат, позволяющий описывать внутреннюю структуру предложения, объекты, их свойства и отношения, а также квантификацию. Особое внимание уделяется принципу композициональности и соотношению элементов логического языка с единицами естественного языка.

Значительное место занимает модальная логика, расширяющая классическую логику за счет введения возможных миров и операторов необходимости и возможности. С ее помощью формализуются различные типы модальности (эпистемическая, деонтическая, темпоральная и др.), а также знания, убеждения и контрафактические высказывания. В заключительном разделе главы обсуждаются области применения логических моделей в формальной и прикладной лингвистике, а также ограничения и перспективы их развития.

§ 1. Логическое описание как способ формального моделирования естественного языка

На практике часто возникает потребность смоделировать не только языковую способность, но и систему знаний (например, в системах искусственного интеллекта или в экспертных системах). В таких случаях языковая модель становится частью системы знаний. Для моделирования знаний могут использоваться логические методы, которые позволяют формально представлять отношения между высказываниями (например, следование, противоречие, им-

пликация); задавать правила вывода и алгоритмы интерпретации; создавать модели рассуждения и понимания текста.

Использование логических правил вывода новой информации на основе уже имеющейся ориентировано на высказывание как единицу анализа. Высказывание в логике – это предложение, выражающее определенное суждение, т.е. выражающее мысль о наличии определенного положения дел.

Способы логического описания высказываний разнообразны, поскольку современная логика представляет собой совокупность различных направлений. Для моделирования знаний используются формализмы, разработанные в рамках *математической логики*.

Языки логики отличаются от формальных грамматик тем, что имеют не только синтаксис, но и семантику. Синтаксис определяет правила построения правильных высказываний (иногда высказывания в формальных логических описаниях называют формулами). Семантикой называется совокупность соглашений, которые определяют условия истинности высказываний. Таким образом, синтаксис задает критерии грамматической правильности цепочек, а семантика определяет истинность каждого высказывания применительно к каждому из *возможных миров*. Возможные миры – это потенциально реальные варианты среды, в которой может быть употреблено высказывание.

Синтаксис и семантика необходимы, чтобы описывать не просто отдельные свойства некоторых элементов языка, но моделировать процессы построения и понимания высказываний. Предполагается, что синтаксические и семантические категории соотносятся друг с другом. Это соотношение можно представить следующим образом:

СИНТАКСИС		СЕМАНТИКА
высказывание	→	пропозиция
существительные	→	объекты
прилагательные	→	свойства объектов
глаголы	→	свойства процессов и действий

Результатом такого соотношения синтаксических и семантических категорий формального языка является парное существование синтаксических и семантических правил.

§ 2. Пропозициональная логика

Пропозициональная логика (или логика высказываний) – это формальная система, которая изучает структуру рассуждений и логические отношения между целыми предложениями (высказываниями), не анализируя их внутреннюю грамматическую или семантическую структуру. Пропозициональная логика является способом представления декларативных знаний, т.к. она основана на оценке высказывания как истинного или ложного относительно какого-либо из возможных миров.

Синтаксис пропозициональной логики определяет те высказывания, которые будут считаться допустимыми. Существуют атомарные высказывания – они состоят из одного пропозиционального символа и являются синтаксически неделимыми. Пропозициональный символ, а следовательно, и все высказывание, может быть оценен как истинное или ложное.

Из атомарных высказываний можно составить сложные высказывания, при этом атомарные высказывания соединяются друг с другом при помощи логических связок (коннекторов). Эти логические связки в нотации обозначаются специальными символами:

¬ – отрицание (иногда для обозначения отрицания может использоваться символ ~).

∧ – конъюнкция. С помощью этого символа два атомарных высказывания объединяются связкой «и». Такой символ выбран, поскольку напоминает букву A в английском союзе AND.

∨ – дизъюнкция, т.е. связка «или». Исторически символ произошел от латинского слова «или», которое пишется как «vel».

Знаком → обозначается связка «если… то…». Высказывание A → B называется импликацией, где A является предпосылкой или условием, B – заключением или следствием.

Знаком ↔ обозначается отношение «если и только если». Высказывание A ↔ B называется двусторонней импликацией или эквиваленцией.

Обобщим данные о коннекторах и их значениях в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Коннекторы в пропозициональной логике

Связка	Символ	Чтение	Пример	Значение
Отрицание	¬ p	«не p»	«Не идет дождь»	Меняет значение на противоположное
Конъюнкция	p ∧ q	«p и q»	«Идет дождь и холодно»	Истинно, если оба утверждения истинны
Дизъюнкция	p ∨ q	«p или q»	«Идет дождь или снег»	Истинно, если хотя бы одно утверждение истинно
Импликация	p → q	«если p, то q»	«Если идет дождь, то улицы мокрые»	Ложно только если p истинно, а q ложно
Эквиваленция	p ↔ q	«p тогда и только тогда, когда q»	«Светло тогда и только тогда, когда день»	Истинно, если оба имеют одно значение

Грамматика высказываний пропозициональной логики описывается формой Бэкуса-Наура (BNF или Backus–Naur Form) и выглядит следующим образом:

Высказывание → Атомарное высказывание | Сложное высказывание

Атомарное высказывание → True | False | Пропозициональный символ

Пропозициональный символ → P | Q | R | …

Сложное высказывание ||| Высказывание
| (Высказывание ∧ Высказывание)
| (Высказывание ∨ Высказывание)
| (Высказывание → Высказывание)
| (Высказывание ↔ Высказывание)

Как организована семантика в пропозициональной логике? Любая модель, в которой используется пропозициональная логика, просто фиксирует значение высказывания по критерию истинности / ложности. Истинность сложных высказываний определяется через установление истинности / ложности простых высказываний. Правила определения истинности обычно представляются в виде таблиц. Для атомарных высказываний и импликаций существуют таблицы истинности / ложности (см. таблицы 5.2–5.6 ниже).

Таблица 5.2

Отрицание

p	$\neg p$
0	1
1	0

Таблица 5.2 наглядно показывает, что выражение $\neg p$ истинно, если p ложно, и наоборот, выражение $\neg p$ ложно, если p истинно.

Таблица 5.3

Конъюнкция (логическое умножение)

p	q	$p \wedge q$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Из таблицы 5.3 следует, что высказывание $p \wedge q$ истинно только в том случае, если p истинно и q истинно.

Таблица 5.4

Дизъюнкция (логическое сложение)

p	q	$p \vee q$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Таблица 5.4 показывает, что сложное высказывание $p \vee q$ истинно, если истинно p или истинно q.

Таблица 5.5

Импликация (логическое неравенство)

p	q	$p \rightarrow q$
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	1

Таблица 5.5 позволяет сделать вывод о том, что высказывание $p \rightarrow q$ является истинным, если $p \leq q$.

Таблица 5.6

Эквиваленция (логическая равнозначность)

p	q	$p \leftrightarrow q$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Таблица 5.6 показывает, что высказывание $p \leftrightarrow q$ истинно при условии, что $p = q$.

Существует также более полная таблица, в которой описаны правила для всех типов логических отношений атомарных высказываний в составе сложных высказываний.

Попробуем записать на языке пропозициональной логики высказывание *Если воскресенье будет солнечно и тепло, то мы поедем гулять в лес.* В данном высказывании имеется три атомарных пропозиции:

В воскресенье будет солнечно – пропозиция p.

В воскресенье будет тепло – пропозиция q.

Мы поедем гулять в лес – пропозиция r.

Теперь объединим первые две пропозиции: $p \wedge q$. Образуя сложное высказывание, они одновременно являются предпосылкой для пропозиции r. Таким образом, наше высказывание на языке пропозициональной логики примет форму $p \wedge q \rightarrow r$. Это высказывание будет истинным только в том случае, если будут соблюдены оба условия.

Таким образом, с помощью языка пропозициональной логики можно смоделировать мир, основанный на знаниях, представленных в языковой форме. Важно помнить, что на языке пропозициональной логики фиксируется только декларативное знание, поскольку семантика этого языка определяется критерием истинности высказываний относительно возможных миров. Такая модель может показывать, как можно действовать в данном мире, основываясь на операции логического вывода.

Возникает вопрос, как соотносится язык пропозициональной логики и естественный язык? В лингвистике и философии языка давно существует традиция, в которой естественный язык моделируется как декларативный язык представления знаний. Исходя из этого постулата, делаются попытки однозначно описать (т.е. формализовать) семантику естественного языка.

Однако язык пропозициональной логики пригоден для моделирования только достаточно простых объектов. Сложные варианты возможных миров удобнее описывать с помощью языка логики первого порядка.

§ 3. Логика первого порядка (логика предикатов)

Логику первого порядка также называют логикой предикатов. Ее важная особенность заключается в том, что она является основной для многих других, более мощных формализмов.

Логика первого порядка является стандартным формальным инструментом для представления значения предложений естественного языка и анализа логического следования (вывода). Она значи-

тельно превосходит пропозициональную логику, поскольку позволяет анализировать внутреннюю структуру высказываний, включая объекты, их свойства и отношения, а также использовать кванторы.

Язык логики первого порядка описывает мир, в котором множество объектов связаны друг с другом различными отношениями. Объектам соответствуют имена существительные естественного языка, а отношения могут обладать различной степенью сложности. Так, выделяются унарные отношения, который характеризуют один объект. Такие отношения также называют свойствами. Примеры свойств – *синий, твердый, скучный, одноэтажный* и т.д. Существуют и более сложные отношения, в которых участвуют несколько объектов: *принадлежать, дарить, входить в состав* и т.д. Некоторые отношения называются функциями: это отношения, в которых для каждого исходного значения формируется только одно «выходное» значение. Примеры функций: *быть отцом, быть в десять раз больше* и др.

Выделение объектов и различных типов отношений между ними позволяет моделировать семантическую структуру высказывания, в частности – отношения между участниками ситуации, которую это высказывание описывает.

Различия между пропозициональной логикой и логикой первого порядка заключаются в следующем: для пропозициональной логики важно, что существует некоторое множество фактов (утверждений), относящихся или не относящихся к данному миру. Таким образом, каждое утверждение может находиться в одном из двух возможных состояний: быть истинным или ложным. В логике первого порядка исходят из того, что мир состоит из множества объектов, между которыми могут быть или не быть отношения разных типов.

Как и в пропозициональной логике, язык логики первого порядка обладает синтаксисом и семантикой. Синтаксис устроен более сложным образом, а целью семантического описания является оценка высказывания с точки зрения его истинности или ложности. Истинность зависит от того, как логические символы (предикаты,

константы) соотносятся с объектами и отношениями в некоторой предметной области.

Синтаксис. Поскольку язык логики предикатов первого порядка основан на понятиях объектов и отношений, он включает в себя различные элементы: константы, переменные и функции.

Константы – это обозначения объектов, аналогом которых в естественном языке выступают имена собственные.

Для обозначения объектов также используются переменные – элементы, значение которых приписывается в зависимости от ситуации. В естественном языке аналогом переменных являются местоимения, которые могут менять свое значение в зависимости от ситуации, в которой употребляются. С точки зрения логической записи высказывание с переменными оценивается как истинное или ложное в зависимости от того, какое значение принимают переменные в каждом конкретном случае.

Константы и переменные вместе образуют *термы* – логические выражения, которые относятся к некоторому объекту.

Отношения между объектами обозначаются с помощью символов, которые называют предикатами. В логике принято говорить, что предикаты могут быть одноместные, двухместные и т.д. Например, предикат LOVE является двухместным (LOVE (X, Y) – John loves ice-cream), предикат SING – одноместным (SING (X) – John sings) или двухместным (SING (X, Y) – John is singing a sad song). Такие отношения между участниками ситуации, которая описывается с помощью конкретного предиката, в логике называют *арностью*, а в лингвистике – *валентностью*.

Операторы (логические связки) в логике первого порядка те же, что и в пропозициональной логике.

LOVE (X, Y) – это формула, в которой указываются все участники ситуации и существующее между ними отношение.

Кванторы – это символы, с помощью которых мы можем описать свойства целых классов объектов, не называя их по именам. Ло-

гика первого порядка включает два квантора: квантор всеобщности ∀ и квантор существования ∃.

Квантор всеобщности ∀ читается «для всех…», квантор существования ∃ – «существует…».

С помощью кванторов можно записывать выражения, например:

Все дети любят мороженое: ∀ X love Y,

где X = ребенок, а Y = мороженое.

То же самое выражение можно с помощью оператора отрицания и квантора существования записать по-другому:

¬ ∃X ¬ love Y.

Как соотносятся элементы языка логики первого порядка и элементы естественного языка? Б. Парти предлагает следующий вариант (таблица 5.7):

Таблица 5.7

Соотношение элементов логики первого порядка и ЕЯ

Логика первого порядка	**Естественный язык**
Формула (высказывание)	Предложение
Предикат	Глаголы, нарицательные существительные, прилагательные
Константа	Имя собственное
Переменная	Местоимение

Важнейшим свойством высказываний, сформулированных на языке логики первого порядка (как, впрочем, и в пропозициональной логике), является свойство композициональности.

Принцип композициональности в наиболее простой формулировке сводится к тому, что значение сложного высказывания является суммой значения его частей. Более сложный вариант формулировки этого принципа звучит так: *значение высказывания представляет*

собой функцию от значения его частей. Функция – это отношение, в котором в ответ на каждое «входное» значение формируется только одно «выходное» значение. Принцип композициональности широко используется в формальных семантических исследованиях, однако он далеко не всегда «срабатывает» для выражений естественного языка, поскольку естественный язык используется не только для передачи информации, следовательно, многие высказывания на естественном языке в принципе некомпозициональны.

На языке логики первого порядка в базах знаний описываются проблемные области, т.е. некоторые части мира, о которых необходимо выразить некоторые знания. Этот формализм широко используется в формальной семантике, а также является основой формальной семантики Монтегю.

§ 4. Модальная логика

Модальная логика – это расширение пропозициональной логики, которое добавляет специальные операторы модальности, т.е. выражения, указывающие на способ истинности высказывания с точки зрения его модальности – языковой категории, выражающей отношение говорящего к содержанию высказывания, а также отношение высказывания к реальности. Иначе говоря, она позволяет различать не просто *что истинно*, а *в каком смысле* истинно: возможно, необходимо, известно, предположено, разрешено, обязательно и т.д.

В основе модальной логики лежит понятие возможных миров. Если в обычной логике высказывание может быть просто истинным или ложным, то в модальной логике истинность высказывания p оценивается относительно мира w. Например, высказывание «*Идет дождь*» может быть истинно в мире w_1, в которой действительно идет дождь, но ложно в мире w_2, *в котором дождя нет*. А вот высказывание «*Возможно, идет дождь*» истинно, если в каком-то из возможных миров идет дождь. Высказывание «*Необходимо, что идет*

дождь» будет истинным, только если во **всех возможных мирах** идет дождь.

Чтобы показать, как применяется модальная логика для описания высказываний на естественном языке, введем ряд модальных операторов (табл. 5.8):

Таблица 5.8

Некоторые модальные операторы

Оператор	Символ	Значение	Пример
Необходимость	$\Box p$	«обязательно *p*»	$\Box p$: «*Необходимо, что идет дождь*»
Возможность	$\Diamond p$	«возможно *p*»	$\Diamond p$: «*Возможно, что идет дождь*»

Модальная логика обычно формализуется через модель Крипке. Эта модель описывает системы, которые могут находиться в различных состояниях и переходить между ними. Модель Крипке описывается формулой M = (W, R, V), где

- W – множество возможных миров, которые обозначаются как $w_1, w_2, \ldots \in W$;
- R – отношение достижимости между мирами (какие миры считаются «возможными» из данного);
- V – функция оценки, определяющая, в каких мирах истинны пропозиции. Она сопоставляет каждому миру $w \in W$ множество атомарных высказываний, которые считаются истинными в этом мире.

Например:

- мир w_0 – реальный мир;
- мир w_1 – мир, в котором Петр женат;
- мир w_2 – мир, в котором Петр холост.

Построим модель Крипке для эпистемической логики (логики знания). В этом сценарии мы смоделируем информационное состо-

яние агента (например, человека, который не знает семейного положения Петра).

- Атомарные высказывания (пропозициональные переменные):

  p = «*Петр женат*».
  q = «*Петр холост*».

Логически q эквивалентно $\neg p$, но для наглядности мы будем использовать оба символа, помня, что в любом мире будет истинно либо p, либо q. Построим модель Крипке M = (W, R, V)

1. W (возможные миры):

- w_married: Мир, в котором Петр женат.
- w_single: Мир, в котором Петр холост.

2. R (отношение достижимости): допустим, наш агент – Саша. Отношение R будет отражать знание Саши: если Саша не знает семейного положения Петра, то из его текущей перспективы оба мира кажутся возможными. Таким образом, отношение достижимости симметрично:

- R = { (w_married, w_married), (w_married, w_single), (w_single, w_single), (w_single, w_married) }

Иными словами, из любого мира Саша «видит» оба мира как возможные.

3. V (функция оценки): эта функция присваивает истинностные значения атомарным высказываниям в каждом мире.

- V(w_married) = { p } // В мире, где Петр женат, истинно p.
- V(w_single) = { q } // В мире, где Петр холост, истинно q.

Что эта модель говорит нам с точки зрения модальной логики? В мире w_married истинно p («Петр женат»), однако не истинно, что Саша это знает. Формально: w_married $\not\models \Box p$. Как можно проверить этот вывод?

- *Проверка:* достижим ли из w_married мир, где p ложно? Да, мир w_single достижим. Значит, Саша не знает, что Петр женат.

Аналогично, в мире w_married истинно ◇q («Возможно, что Петр холост»). Проверим этот вывод:

- *Проверка:* существует ли мир, достижимый из w_married, где *q* истинно? Да, w_single.

Эта модель идеально отражает состояние незнания.

Таким образом, в модальной логике добавляется еще одно измерение – измерение возможных миров, т.е. альтернативных ситуаций, где высказывания могут быть истинными или ложными.

Поскольку модальная логика используется для описания модальности (возможности, необходимости, желания, знания), она применяется для моделирования значения модальных глаголов (*может, должен*) и эпистемических выражений (*знает, верит*).

Выше мы уже ввели два модальных оператора – оператор необходимости и оператор возможности. Однако необходимо понимать, что сами символы □ и ◇ – абстрактные. В зависимости от интерпретации, они могут выражать и другие типы значений, которые представлены ниже в табл. 5.9:

Таблица 5.9

Интерпретация модальных операторов в естественном языке

Тип модальности	**Пример выражений**	**Формальная интерпретация**
Деонтическая (нормативная)	должен, разрешено, запрещено	□ p – «обязательно p»; ◇ p – «разрешено p»
Эпистемическая (познавательная)	возможно, вероятно, точно	◇ p – «возможно p (с точки зрения знания)»
Алетическая (физическая возможность)	может, способен	◇ p – «возможно в рамках законов природы»
Темпоральная (временная)	было, будет, всегда	□ p – «всегда p»; ◇ p – «когда-то p»
Доксастическая (убеждения)	считает, верит	□ p – «агент уверен, что p»
Эвиденциальная	кажется, похоже, говорят	◇ p – «свидетельства допускают p»

Благодаря тому, что модальные операторы могут получать различную интерпретацию, одна и та же грамматическая форма (*должен быть*) получает разные интерпретации в зависимости от модели логики, выбранной для анализа. В качестве примера рассмотрим высказывание *Он должен быть дома*:

1. Деонтическая модальность: *Он обязан быть дома* → □ *p,* т.е. во всех допустимых мирах по правилам p истинно)

2. Эпистемическая модальность: *Вероятно, он дома* → □ *p*, т.е. во всех возможных мирах, совместимых с нашими знаниями, *p* истинно.

3. Алетическая модальность: *Сейчас есть основания считать, что он дома*. Такой вариант интерпретации связывает модальность с контекстом.

С середины XX века модальная логика стала основой формальной семантики. Она используется для формального анализа различных типов языковых единиц и значений, примеры которых приведены в табл. 5.10.

Таблица 5.10

Описание различных типов языковых единиц и значений на языке модальной логики.

Языковые единицы	**Модальный подход**
Модальные глаголы (*должен, может, может быть*)	Описываются через операторы □ и ◇
Контрафактические конструкции (*если бы…*)	Используются модели возможных миров
Знание и убеждения (*знает, думает, считает*)	Моделируются эпистемическими модальностями
Темпоральные выражения (*всегда, иногда, когда-нибудь*)	Формализуются в темпоральной модальной логике
Семантика высказываний с оценкой (*вероятно, кажется, по идее*)	Представляются как модальные операторы вероятности

В прикладной лингвистике и системах искусственного интеллекта модальная логика используется для представления знаний и убеждений агентов (например, в диалоговых системах), обработки контекста и неопределенности (в чат-ботах, рассуждающих системах), моделирования пресуппозиций и импликатур, анализа отношений логического следования и противоречия в задачах NLU (natural language understanding).

Несмотря на мощь модальной логики, у нее есть ограничения: она не моделирует внутреннюю структуру высказываний (для этой задачи лучше подходит логика предикатов); с ее помощью трудно описывать градуированные модальности (*скорее всего, возможно немного); она не всегда учитывает динамику контекста.*

Контрольные вопросы

1. Почему логика рассматривается как фундамент формального моделирования естественного языка?
2. Чем логический язык отличается от формальной грамматики естественного языка?
3. Что понимается под формально заданной семантикой логического языка?
4. В чем состоит идея условий истинности высказывания?
5. Какова роль интерпретации и модели в логической семантике?
6. Что такое пропозициональная логика и какие языковые явления она позволяет описывать?
7. Какие ограничения имеет пропозициональная логика при анализе естественного языка?
8. Почему для моделирования значения предложений естественного языка требуется логика первого порядка?
9. Какие типы объектов вводятся в логике первого порядка при описании языкового значения?

10. Как в логике первого порядка представляются свойства и отношения?

11. Что такое кванторы и какую роль они играют в семантическом анализе предложений?

12. Как в логике первого порядка отражается различие между индивидуальными объектами и классами объектов?

13. В чем заключается принцип композициональности и почему он важен для формальной семантики?

14. Как соотносятся элементы логического языка с элементами естественного языка?

15. Какие типы логических связок используются для представления сложных высказываний?

16. В чем состоит вклад модальной логики в моделирование значения высказываний естественного языка?

17. Какие виды модальности могут быть формализованы с помощью модальной логики?

18. Почему логические модели считаются полезными для прикладной лингвистики и автоматической обработки естественного языка?

19. Какие основные ограничения логических моделей отмечаются при моделировании семантики естественного языка?

Практические задания

1. Определите пропозициональную структуру следующих предложений и укажите, какими логическими связками они могут быть формализованы:

а) *Если идет дождь, то улицы мокрые.*

б) *Анна читает книгу и слушает музыку.*

2. Запишите в логике первого порядка значение предложения *Пчела ужалила собаку.* Укажите предикат и аргументы.

3. Формализуйте предложения и прокомментируйте их смысл:

а) *Каждый студент читает книгу.*

б) *Некоторые студенты читают книги.*

4. Покажите два возможных логических прочтения предложения *Каждый студент прочитал какую-то статью.*

5. Формализуйте предложения и объясните различие в значении:

а) *Не каждый студент сдал экзамен.*

б) *Каждый студент не сдал экзамен.*

6. Определите, являются ли логически эквивалентными следующие предложения. Обоснуйте ответ:

а) *Ни один студент не опоздал.*

б) *Каждый студент не опоздал.*

7. Формализуйте предложение *Петр поедет в Москву или в Петербург* и укажите его возможные интерпретации.

8. Предложите логическое представление предложения *Студент должен сдать экзамен.* Объясните, какой тип модальности в нем выражен.

Часть II

ФОРМАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ ЯЗЫКА

Глава 6

ФОРМАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОНОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ

В данной главе представлены основные идеи формального моделирования фонологического уровня. Рассматриваются линейные и иерархические модели, позволяющие объяснять разнообразные фонологические явления в языках мира. Также в этой главе обсуждаются важные изменения в понимании структуры фонемы – от неупорядоченного пучка дифференциальных признаков до иерархически организованной многоуровневой структуры. Еще один важный аспект формального моделирования в фонологии, претерпевший значительные изменения – отношение к правилам: от их ведущей роли и применения в строгой последовательности до их замены на принципы гармонии.

§ 1. Динамическое моделирование фонологических систем

Создание формальных моделей фонологического уровня любого языка стало возможным благодаря очевидной системной организации этого уровня. Лингвисты создают формальные описания, которые представляют связи и отношения между элементами фонологических систем, а также стремятся объяснить, каким образом говорящий порождает звуковую оболочку высказывания.

Практическая потребность в формализации звучащей речи появилась во второй половине XX века в связи с развитием технических средств коммуникации и информационных технологий. До этого фонетика и фонология оперировали *статическими описательными* моделями, которые пригодны в основном для создания различных *классификаций звуков*. Описательные модели необходимы для ответа на вопросы, какие звуки есть в конкретном языке либо какие звуки есть в естественных языка в принципе. Однако, как и любые другие классификационные модели, они не объясняют, как носитель языка оперирует имеющимся фонетическим инвентарем. Для

ответа на этот вопрос необходимы другие модели – *динамические*, ориентированные на моделирование процесса порождения звуковой оболочки высказывания носителем языка. Иными словами, теперь задачей лингвистов стало моделирование фонологического компонента языковой способности говорящего.

Появление динамических формальных моделей стало закономерным этапом развития фонологии, когда было накоплено достаточное количество данных о звуковом составе языков и разработаны приемы его описания и систематизации.

Основные формализмы, которые используются в формальной фонологии – это пропозициональная логика (в автосегментной фонологии), формальные грамматики, которые используются в иерархических фонологических моделях, конечные автоматы, которые используются для моделирования фонотактических отношений, например, в двухуровневой фонологии, категориальные грамматики.

Современные формальные описания фонологического уровня направлены на решение прикладных задач, связанных с синтезом и анализом звучащей речи, т.е. с моделированием речевого поведения носителя языка.

§ 2. Генеративная фонология Н. Хомского и М. Халле

Развитие методов динамического моделирования языковой способности человека в западной лингвистике связаны в первую очередь с именами американских лингвистов Н. Хомского и М. Халле – создателей генеративной фонологии. Исследовательская программа Н. Хомского и М. Халле была в наиболее полном виде представлена в вышедшей в 1968 г. книге “The Sound Pattern of English”.

Целью генеративной фонологии в ее стандартном варианте было создание эксплицитного (т.е. явного) алгоритмического описания фонологического компонента языка. Основной упор был сделан на формализацию и простоту описания: фонологический компонент был представлен в виде алгоритма порождения – последовательно-

сти операций, которые могут быть выполнены за конечный промежуток времени.

В ранних версиях генеративной грамматики предложение представлялось как совокупность трех характеристик: семантической, синтаксической и фонологической. Это означает, что фонологические структуры входят в общую языковую компетенцию носителя языка. Фонологический компонент отвечал за порождение фонологических оболочек для потенциально бесконечного количества грамматически правильных высказываний.

Генеративная фонология стала частью более общей теории – генеративной грамматики. Хомский и Халле показали, что не только синтаксическая, но и звуковая структура естественного языка может быть описана как алгоритм порождения *поверхностной структуры* слова или высказывания из его *глубинного представления*. Вообще, одной из наиболее важных идей, лежащих в основе порождения фонологической оболочки высказывания, стал отказ от структуралистского подхода к фонологическому описанию на основе поверхностного противопоставления фонем. Именно глубинное представление содержит всю информацию, необходимую для порождения фонологической оболочки слова или высказывания.

Генеративная фонология относится к классу линейных фонологических моделей, поскольку в ней лексемы представлены в виде линейных звуковых последовательностей. В модель не было включено ничего, что выходило за рамки линейной структуры этих матриц: в частности, в модель не были включены слоги. Особая роль отводится формальному представлению фонем: пучки дифференциальных признаков описывались с помощью матриц. Каждый дифференциальный признак принимает одно из двух возможных значений: [+] или [–]. Например, класс шумных согласных целиком может быть задан следующей минимальной матрицей:

$$\begin{bmatrix} + & cons \\ - & voc \end{bmatrix}$$

Матричная запись удобна для применения фонологических правил, которые действуют на любой элемент класса, обладающего заданным в матрице набором признаков.

Как происходит порождение фонетической репрезентации высказывания? Работу фонологического блока можно представить в виде схемы (рис. 6.1):



Рис. 6.1. Схема порождения высказывания с фонологическим блоком в модели Н. Хомского и М. Халле

В модели Хомского и Халле фонологическая оболочка высказывания формируется после синтаксической и семантической структуры высказывания.

На первом этапе порождения звуковой оболочки происходит подстановка оболочек минимальных значимых единиц (т.е. морфем). Информация о фонологических и грамматических характеристиках морфем содержится в специальном блоке – *лексиконе*. Результатом подстановки является фонологическая репрезентация высказывания. Именно к ней затем применяются фонологические правила, обеспечивающие необходимые контекстные преобразования. Поскольку каждая фонема представлена в виде матрицы дифференциальных признаков, правила оперируют именно этими признаками.

Правила фонологического компонента имеют следующий вид:

$$\boldsymbol{A \rightarrow B \,/\, X__\, Y}$$

В данной записи в левой части правила нетерминальный символ ***A*** обозначает единицу, которая должна быть преобразована в результате работы правила, символ ***B*** обозначает результат преобразования. Символами ***X*** и ***Y*** обозначены левый и правый контексты, которые определяют возможность применения правила. Иными словами, такая запись правила означает, что если в цепочке в позиции между ***X*** и ***Y*** встречается символ ***A***, то в результате применения правила он заменяется на символ ***B***. Указание на контекст является факультативным – в ряде случаев преобразования могут осуществляться независимо от контекста.

Конкретные правила записываются в виде признаковых матриц; эти правила могут действовать на любой элемент класса, который описывается данными признаками. Чтобы сделать модель более компактной, в запись правил вводятся дополнительные обобщения. В качестве примера рассмотрим, как будет записано правило регрессивного озвончения в сочетаниях внутри слова:

$$\begin{bmatrix} - & voc \\ + & cons \end{bmatrix} \rightarrow [+voice] \,/\, \underline{\quad} \begin{bmatrix} - & voc \\ + & cons \\ + & voice \end{bmatrix}.$$

Это правило означает, что любой шумный согласный становится звонким в позиции перед другим звонким шумным. Правило оглушения записывается похожим образом:

$$\begin{bmatrix} - & voc \\ + & cons \end{bmatrix} \rightarrow [-voice] / ___ \begin{bmatrix} - & voc \\ + & cons \\ - & voice \end{bmatrix}.$$

Для более компактного представления информации о процессах озвончения и оглушения можно объединить эти два правила с помощью греческой буквы α, которая в записи ниже обозначает переменное значение признака:

$$\begin{bmatrix} - & voc \\ + & cons \end{bmatrix} \rightarrow [\alpha voice] / ___ \begin{bmatrix} - & voc \\ + & cons \\ \alpha & voice \end{bmatrix}.$$

В соответствии с этим правилом шумный согласный, за которым следует другой шумный согласный, ассимилируется по звонкости / глухости: перед [+ voice] он становится звонким, а перед [– voice] – глухим. Чтобы сделать это правило универсальным, т.е. чтобы оно работало не только внутри словоформы, но и на стыках слов, в правило добавляется символ ##, которое обозначает возможную границу между словоформами, одна из которых оканчивается на шумный согласный, а другая – начинается с шумного.

$$\begin{bmatrix} - & voc \\ + & cons \end{bmatrix} \rightarrow [\alpha voice] / ___ \; \#\# \begin{bmatrix} - & voc \\ + & cons \\ \alpha & voice \end{bmatrix}.$$

В ранней версии генеративной фонологии одним из главных положений было признание *строгого, фиксированного порядка применения правил*. Этот принцип был тесно связан со стремлением по возможности выводить все варианты морфем из единой записи в лексиконе и при этом избегать морфонологических чередований.

Однако именно морфонологические чередования стали камнем преткновения для модели Хомского и Халле, поскольку они требовали не только большого количества правил, но и строгого порядка

их применения. Таким образом, модель, предложенная Хомским и Халле, не могла объяснить многие фонологические процессы без дополнительного усложнения. К тому же, многие построения генеративистов выглядели искусственно: получалось, что носитель языка должен запоминать не только глубинные представления, но и порядок применения правил. Поэтому многими исследователями высказывались сомнения в психолингвистической реальности этой модели, особенно в необходимости каждый раз обращаться к глубинным формам и проходить все этапы исторических изменений словоформ.

Тем не менее, идеи, высказанные Хомским и Халле, значительно повлияли на дальнейшее развитие западной фонологии. Если американские структуралисты шли от анализа практического языкового материала к созданию явного грамматического описания, то генеративисты пошли прямо противоположным путем: от эксплицитного формального грамматического описания к порождению высказываний. Алгоритмическое представление фонологической информации, предложенное Хомским и Халле, стало еще одним способом моделирования и объяснения фонологических явлений наряду с историческим, психологическим или социологическим способами. Кроме того, идеи, высказанные генеративистами, были распространены на другие языки.

§ 3. Естественная порождающая фонология Т. Феннеманна

Некоторые исследователи предлагали сделать генеративную фонологию более естественной, но при этом сохранить формализованность описания. Так, в середине 70-х годов XX века возникло направление исследований под названием «естественная порождающая фонология». Ведущим представителем этого направления был немецкий лингвист Т. Феннеманн. Естественная порождающая фонология стремилась сделать фонологическое описания более конкретными, прозрачными и психологически реалистичными.

Естественная порождающая фонология отвергала или существенно модифицировала некоторые ключевые положения генеративной фонологии Хомского и Халле, делая акцент на «естественности» фонологических процессов. Например, если в генеративной фонологи допускались очень абстрактные глубинные представления фонем и сложные правила (что приводило к ситуациям, когда связь между глубинным и поверхностным представлениями была неочевидной с точки зрения носителя языка), то сторонники естественной порождающей фонологии считали, что все фонологические правила должны быть непосредственно наблюдаемы на поверхностном уровне, т.е. если правило применяется, то его эффект должен быть виден, а связь между глубинной и поверхностной формами должна быть максимально прямой и очевидной. В процедуре вывода не должно быть скрытых или очень абстрактных шагов вывода.

Как и Н. Хомский, Т. Феннеманн считал задачей фонологического компонента порождение фонетических характеристик грамматически правильных высказываний. Однако сам процесс порождения высказывания Феннеманн представлял по-другому. Например, он считал, что носитель языка помнит все употребленные словоформы в готовом виде, поэтому нет необходимости каждый раз порождать звуковые оболочки словоформ. Получается, что носитель языка просто пользуется готовыми единицами словаря и при необходимости осуществляет некоторые адаптации на стыках слов. Если признать правоту Феннеманна, возникает по крайней мере два вопроса:

- как порождаются новые словоформы?
- действительно ли носители аналитических языков, в которых парадигма может содержать несколько десятков словоформ, образованных по эксплицитным правилам, помнят каждую из них в готовом виде?

Феннеманн считал, что проблему создания новых словоформ носители языка решают по аналогии, т.е. новые словоформы создаются регулярным способом и не требуют упорядоченного применения правил. Что касается применения модели Феннеманна к аналитическим языкам, то здесь естественная порождающая фонология показала свою ограниченность.

Умеренные представители естественной порождающей фонологии признавали право на существование лексикона, в котором содержатся морфемы, а не готовые словоформы. Естественность модели должна была достигаться за счет отказа от абстрактных глубинных представлений морфем. Это означает, что словарные репрезентации должны быть максимально похожи на поверхностные, и в них не должно быть элементов, которые отсутствуют в наблюдаемых поверхностных формах. Кроме того, лингвисты отказались от строгого порядка применения правил. Вместо этого они отделили морфонологические чередования от собственно фонологических, и это компенсировало свободный порядок применения правил. Тогда система порождения звуковой оболочки высказывания могла работать циклически, повторяя правила до тех пор, пока есть условия для применения соответствующего правила. Эту процедуру можно представить в виде схемы (рис. 6.2).

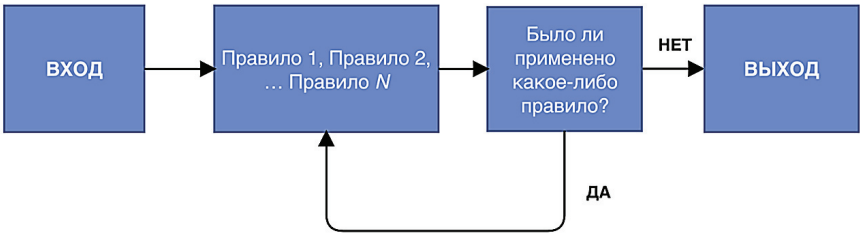


Рис. 6.2. Действие правил в естественной порождающей фонологии

Такой принцип построения системы правил позволяет многократно применять одно и то же правило при повторном возникновении условий применения, например:

встретьтесь с друзьями [*с'здр*] → [*с'здр*] → [*з'здр*].

В данном контексте происходит последовательное регрессивное озвончение согласных [*с*] и [*с'*].

В рамках естественной порождающей фонологии остался нерешенным ряд вопросов, достаточно важных для моделирования фонетического аспекта языковой способности. В частности, авторы модели не рассматривали проблему правил, которыми человек может пользоваться при восприятии звучащей речи, а ведь восприятие – это важная часть нашей общей языковой способности. Также исследователи подвергают сомнению возможность такого устройства лексикона, которое предложил Феннеманн: очевидно, что носители языка не хранят все словоформы в готовом виде, а пользуются различными техниками и правилами для их образования.

Дальнейшее развитие динамического формального моделирования фонологического уровня связано с появлением как линейных, так и нелинейных моделей.

§ 4. Лексическая фонология

Лексическая фонология – это модель, созданная в 1980-х годах группой лингвистов (П. Кипарский, К.П. Моханан, С. Страусс и др.). Лексическая фонология была попыткой оживить генеративистские идеи в фонологии, объединив их с представлениями, разработанными в рамках структурализма.

Цель создания лексической фонологии – объяснить, как взаимодействуют фонологический и морфологический уровни языка в процессе словообразования. Это взаимодействие отражено с помощью уровней, на которых располагаются морфемы, с которыми, в свою очередь, связаны определенные фонологические правила. Важно,

что эти правила применялись на разных уровнях в процесс словообразования и словоизменения, а не после того, как слово было полностью сформировано.

Центральная роль в словообразовании отводится лексикону: он имеет многоуровневую структуру и именно на этих уровнях происходят определенные фонологические и морфологические процессы.

В лексической фонологии все фонологические правила делятся на два класса: лексические и постлексические. Лексические правила оперируют морфологической информацией и действуют на всех уровнях лексикона. Область действия лексических правил – морфемы.

Постлексические правила применяются только к готовым лексическим репрезентациям (т.е. к уже сформированным словам), они действуют на уровне построения высказывания с учетом правил синтаксиса конкретного языка. Иными словами, постлексические правила обеспечивают необходимые фонологические преобразования на стыках слов в высказывании.

Между лексическими и постлексическим правилами имеется ряд существенных различий. Так, лексические правила могут действовать только внутри словоформы, в то время как область действия постлексических правил – вся фраза, они «нечувствительны» к морфологическим границам. Другое существенное различие касается исключений: лексические правила их допускают, а постлексические – нет. Это различие напоминает различение морфонологических и фонетических явлений, принятых в рамках структурализма. Наконец, для действия лексических правил необходима морфологическая информация, а постлексические правила опираются на правила сочетания слов в высказывании, т.е. на синтаксис.

Графическая модель алгоритма словообразования в лексической фонологии представлена далее на рис. 6.3.

Процесс словообразования устроен иерархически: для каждого уровня лексикона определен список морфем, которые добавляются по мере перехода словоформы с одного уровня на другой. Последо-

вательность словообразования подобна конвейеру: возвращение на предыдущий уровень не допускается. Для каждого уровня определен также и круг лексических правил, которые производят необходимые фонологические преобразования.

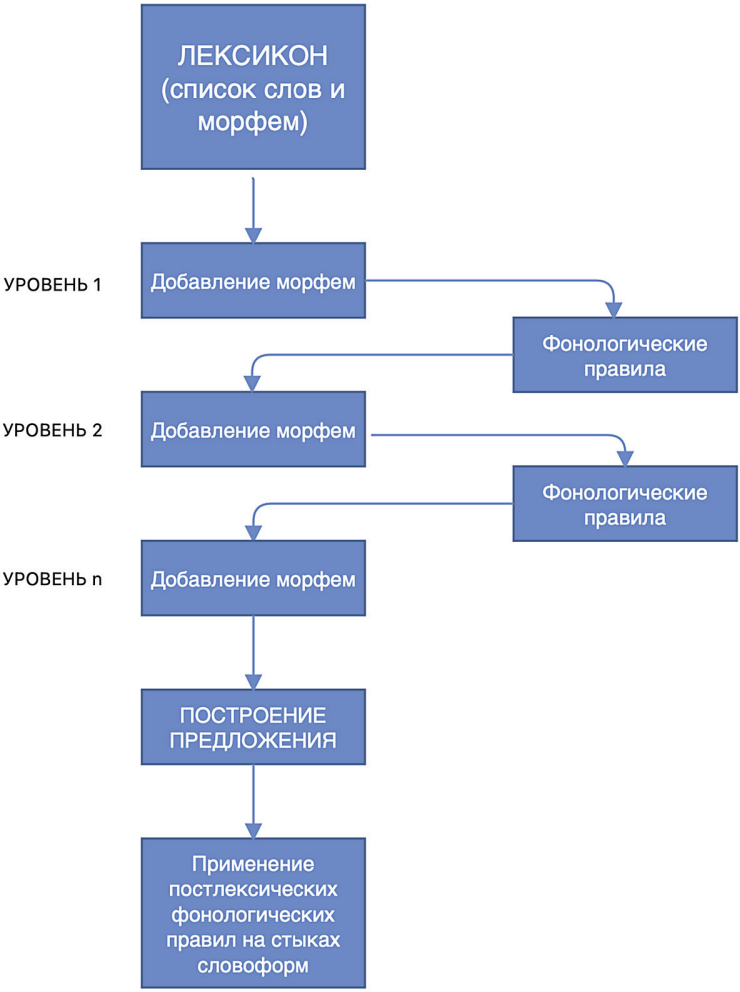


Рис. 6.3. Словообразование в лексической фонологии

Результатом преобразования становится промежуточная форма, которая поступает на следующий уровень деривации и подвергается там дальнейшим преобразованиям.

Конечный результат деривационного процесса – лексическая репрезентация – становится «строительным материалом» для построения высказывания. Именно к лексической репрезентации применяются постлексические правила, причем эти правила, в отличие от лексических, могут быть применены только один раз.

Сторонники лексической фонологии исходят из того, что языки различаются количеством возможных уровней деривации в лексиконе. Так, Халле и Моханан предложили выделять от 2 до 4 уровней деривации в английском языке. На первом уровне должны осуществляться все преобразования, связанные с нерегулярными чередованиями и сдвигом ударения, второй уровень – уровень регулярного словообразования, третий – уровень словообразования путем сложения основ, и, наконец, на четвертом уровне осуществляется присоединение регулярных окончаний (например, к глагольным формам).

Лексическая фонология – это одна из наиболее ранних попыток перехода от линейного моделирования к иерархическому. Это была одна из первых теорий, которая объединила фонологию и морфологию в единую модель, объясняя их тесное взаимодействие. Лексическая фонология предложила формальный механизм для объяснения циклических явлений в фонологии и позволила четко разграничить фонологические правила на основе их свойств и областей применения. Идеи лексической фонологии оказали существенное влияние на разработку морфологических анализаторов и генераторов в компьютерной лингвистике, особенно для языков с богатой морфологией.

Создатели этой модели столкнулись с рядом проблем. Так, в ряде случаев морфологическая структура слова не соответствовала строгой последовательности уровней лексикона. Например, в английском слове light-heart-ed-ness сложение основ предшествует присоединению аффикса -ness, в то время как порядок следования

уровней с соответствующими морфемами и правилами является противоположным.

Еще одна проблема связана с тем, что часто бывает трудно определить, к какому уровню должен относиться тот или иной аффикс или морфологический процесс, поскольку в модели отсутствуют универсальные критерии распределения морфем по уровням.

Лексическая фонология, как и классическая генеративная фонология, хорошо справлялась с конкатенативной морфологией (т.е. с языками, в которых аффиксы присоединяются в линейной последовательности). А вот неконкатенативные процессы, такие как изменение гласного в корне (например, *drink – drank – drunk*) или морфологию семитских языков эта модель описывает хуже.

Еще одно слабое место лексической фонологии – отсутствие объяснения, почему правила ранжируются так, а не иначе, или почему некоторые правила активны в одних языках и неактивны в других. Порядок правил часто постулировался *ad hoc* для каждого языка.

Многие из этих слабых мест стали отправной точкой для развития новых фонологических теорий, таких как теория оптимальности и дистрибутивная морфология (см. ниже). Тем не менее, лексическая фонология остается важной вехой в истории генеративной лингвистики и продолжает влиять на современные исследования.

§ 5. Двухуровневая фонология

Двухуровневая фонология не является самостоятельной моделью фонологического уровня языка; она была разработана финским лингвистом Киммо Коскенниеми как блок модели, которая получила название *двухуровневая морфология* (эта модель рассматривается в следующей главе). В данной главе рассматриваются только те особенности модели, которые непосредственно касаются фонологического уровня.

Двухуровневая фонология своими корнями уходит к классической генеративной фонологии. Сходство двух моделей состоит в том, что обе они относятся к классу *линейных фонологических моделей*, т.е. в них *фонологические формы представляются как линейные цепочки символов*. Поэтому двухуровневая фонологическая модель находит практическое применение в тех системах автоматической обработки языка, которые работают с последовательным орфографическим вводом информации.

Двухуровневая фонология создавалась как попытка ответить на вопросы, на которые традиционная генеративная фонология не давала полного и непротиворечивого ответа. В частности, генеративный подход был плохо применим к языкам агглютинативного типа, а также к языкам с развитой морфологией.

Выход из сложившейся ситуации был найден, когда было предложено заменить последовательное применение правил на синхронное, т.е. правила переписывания были заменены на правила соответствия.

Рассмотрим принцип работы модели двухуровневой фонологии. Модель включает в себя два компонента:

- фонологические правила, представленные в виде конечного автомата. Правила определяют, какие последовательности символов на глубинном уровне могут соответствовать каким последовательностям на поверхностном уровне;
- лексический компонент, или лексикон, который включает в себя индивидуальные слова или морфемы в их глубинной форме. Помимо этого, во второй компонент включаются морфотактические ограничения (запреты на некоторые сочетания фонем и морфем).

Эти два компонента работают совместно, причем их совместная работа обеспечивает не только порождение, но и распознавание словоформ.

Сравним механизм действия правил в генеративной фонологии и двухуровневой фонологии.

В теории Хомского и Халле правила понимались как *правила последовательного переписывания*. Процедура переписывания – это трансформация, т.е. замена одного символа на другой согласно определенным правилам. Например, если правило записано в таком виде: $a \rightarrow b$, то взаимоотношение *a* и *b* таково, что всякий раз, применяя данное правило, необходимо заменять *a* на *b*. В свою очередь, это означает, что после такой замены символа *a* в записи больше не существует, т.е. он становится недоступен для действия других правил.

Другой важной характеристикой правил в генеративной фонологии было то, что правила применялись последовательно. Это означает, что после работы каждого правила возникал промежуточный уровень репрезентации, который и служил входным материалом для следующего правила.

Третьей важной особенностью правил в генеративной фонологии было то, что они применялись в строгой последовательности, упорядоченно, но не одновременно. Применение правил в ином порядке приводило к искажению конечного результата т.е. поверхностной структуры словоформы.

Чем принципиально отличаются правила в двухуровневой фонологии от правил традиционной генеративной фонологии? Во-первых, в этой модели правила применяются одновременно, т.е. параллельно. Во-вторых, из этого следует, что параллельное применение правил не создает промежуточных уровней представления. Для двухуровневой модели достаточно двух уровней: глубинного и поверхностного. Именно поэтому модель получила название двухуровневой.

Следующее важное отличие состоит в следующем: в то время как в генеративной фонологии глубинное и поверхностное представления соотносятся путем переписывания символов, в двухуровневой модели устанавливается однозначное соответствие между парами глубинных и поверхностных символов. Например, вместо того, чтобы при переписывании заменять символ *a* на символ *b*, правила двухуровневой модели устанавливают однозначное соответствие между этими символами. Таким образом, *a* не превращается в

b, поэтому символ *a* продолжает оставаться доступным для работы других правил.

Если генеративные правила могут быть применены только к деривации словоформы в ее текущем состоянии, в двухуровневой фонологии правила могут применяться и к глубинному, и к поверхностному представлениям. Это означает, что двухуровневое правило может соотноситься как с глубинным представлением *a,* которое соответствует поверхностной репрезентации *b*, так и наоборот.

Наконец, если в генеративной фонологии правила работают только в одном направлении, а именно, в направлении продукции словоформ, то в двухуровневой модели правила могут применяться в двух направлениях: и в направлении генерации словоформ, и в направлении распознавания уже готовых словоформ. Это свойство двухуровневой модели оказывается особенно полезным в компьютерных разработках, т.е. система может не только генерировать правильные словоформы, но и распознавать словоформы, вводимые пользователем.

В табл. 6.1 обобщены все свойства правил в генеративной фонологии и в двухуровневой фонологии.

Посмотрим на примере, как с одними и теми же фонетическими процессами работают правила генеративной фонологии и правила двухуровневой модели. Наш пример будет состоять в преобразовании глубинной квазиформы *temi* в поверхностную квазисловоформу *cimi.* При этом должны произойти два фонологических изменения: во-первых, подъем гласного, если за ним следует согласный. Второе изменение – это палатализация, т.е. переход *t* в *c,* если правым контекстом является гласный.

Запишем эти преобразования с помощью правил генеративной фонологии:

1. Подъем гласного

e → i /_Ci

2. Палатализация

t → c/_i

Таблица 6.1

Работа правил в генеративной фонологии и в двухуровневой фонологии

	Генеративная фонология	**Двухуровневая фонология**
Вид правила	Переписывание, т.е. замена нетерминального символа на терминальный: ***a → b***	Однозначное соответствие между символами: **(L1:S1) ↔ Context**, где L1 – символ на глубинном (лексическом) уровне, S1 – символ на поверхностном уровне, Context – окружение, в котором допустимо данное соответствие
Порядок применения правил	Последовательный	Параллельный
Наличие промежуточных уровней	Да	Нет
Доступность символа для работы других правил	Нет	Да
Возможность применения правил к поверхностному уровню	Нет	Да
Возможность распознавания словоформ	Нет	Да

Итак, правило 1 производит переписывание, т.е. замену *e* на *i*, если после e стоит согласный (символ C – consonant – означает любой согласный). Правило 2 обеспечивает замену *t* на *c*, если после *c* следует *i*. Посмотрим, как работают эти правила:

Глубинная структура *temi*

Промежуточная структура после применения Правила 1 *timi*

Правило 2 применяется уже к полученной промежуточной репрезентации:

Промежуточная структура *timi*

Поверхностная структура после применения Правила 2 *cimi*

Таким образом, применяя правила генеративной фонологии, мы неизбежно получаем дополнительный промежуточный уровень репрезентации, а ряд символов после переписывания становится недоступным для дальнейших преобразований.

Что касается двухуровневой модели, то в ней Правило 1 будет представлено в виде постоянного однозначного соответствия глубинных и поверхностных символов:

Глубинная структура *temi*

Поверхностная структура *cimi*

Такая запись правил требует точного взаимно-однозначного соответствия между символами глубинной и поверхностной репрезентаций. Однако в таком случае необходимо решить проблему совпадения количества символов в глубинной и поверхностной структурах. Проблема удаления и добавления символов решается в двухуровневой фонологии (и морфологии) путем добавления 0, нулевого сегмента.

Правило преобразования глубинной формы в поверхностную для нашего примера можно записать в таком виде:

$$t : c \Leftrightarrow __@ : i$$

Это правило состоит из трех частей: соответствия ($t : c$), оператора ↔ и окружения (__@ : i). Оператор ⇔ означает, что соответствие должно соблюдаться постоянно в строго определенном окружении. Другими словами, перед нами правило, обязательное для выполнения. Символ @ означает любой фонологический компонент, включенный в данное описание. Его важность состоит в следующем: он заменяет любой глубинный компонент, поверхностной

реализацией которого будет *i*. В нашем случае символ @ заменяет два возможных варианта: *e* : *i* и *i* : *i*. Таким образом, он обеспечивает параллельное применение двух правил, поскольку разрешаем применять правило палатализации к глубинным символам *e* и *i*.

Еще один пример – оглушение конечных звонких согласных. Рассмотрим, как правило оглушения [b] → [p] на конце слова может быть представлено в двухуровневой фонологии.

Глубинное (лексическое) представление слова «дуб»: *d u b*

Поверхностное представление слова «дуб»: *d u p*

Правило соответствия для оглушения: (b:p) \⇔ _ # читается так: символ ***b*** в глубинной структуре соответствует поверхностному ***p*** в контексте «перед концом слова», который обозначен символом #).

Все остальные символы будут соответствовать сами себе:

- (d:d)
- (u:u)

Когда система анализирует поверхностную форму *d u p*, она соотносит его с глубинным (лексическим) представлением:

1. (d:d) – соответствует
2. (u:u) – соответствует
3. (b:p) – соответствует, потому что p находится на конце слова.

Таким образом, поверхностная репрезентация d u p соответствует глубинному представлению d u b.

Для алгоритмической реализации данной модели используются конечные автоматы, поскольку они позволяют задавать однозначное соответствие между двумя символами. Модель Коскенниеми применяется в системах автоматической обработки естественного языка, решая задачи морфологического анализа и синтеза, автоматической проверки орфографии, системах машинного перевода. Существуют также крупные разработки компьютерных систем в различных университетах Европы и Америки. Таким образом, модель двухуровневой фонологии является продуктивной при анализе естественных языков с хорошо развитой морфологией.

§ 6. Автосегментная фонология

Следующий шаг в моделировании структуры фонемы был сделан в рамках теории, которая получила название *автосегментной фонологии.* Чтобы понять суть этой модели, нужно вспомнить, что в генеративной фонологии фонема представлялась как пучок *неупорядоченных* дифференциальных признаков. Такого представления достаточно для моделирования фонологических явлений индоевропейских языков, однако для работы с языками, в которых тон выполняет смыслоразличительную функцию, такого представления явно недостаточно: невозможно объяснить, почему некоторые гласные фонемы обладают двумя разными тонами. Например, слог может быть произнесен восходяще-нисходящим тоном, т.е. мы имеем два признака: [+восходящий тон] и [+нисходящий тон], а ведь это два взаимоисключающих значения одного и того же признака. Получается, что линейные фонологические модели не могут разрешить подобные противоречия.

Джон Голдсмит предложил другой подход: он стал определять фонему как совокупность самостоятельных сегментов фонологической структуры. Такое представление предполагает, что отдельная фонема имеет упорядоченную внутреннюю структуру, и единицы этой структуры автономны, отсюда и название модели – *автосегментная фонология*. Такое понимание позволило описать взаимосвязь между гласными фонемами и тонами.

В теории Дж. Голдсмита фонологическая структура слова принципиально *нелинейна*: отдельные фонемы и тоны являются автономными фонологическими единицами, поскольку располагаются на разных ярусах (или уровнях) в строго определенной последовательности (хотя в речевом потоке они неотделимы друг от друга и реализуются синхронно).

На примере синтагмы *the black cat* посмотрим, как структурируется фонологическая информация в автосегментной фонологии (рис. 6.4).

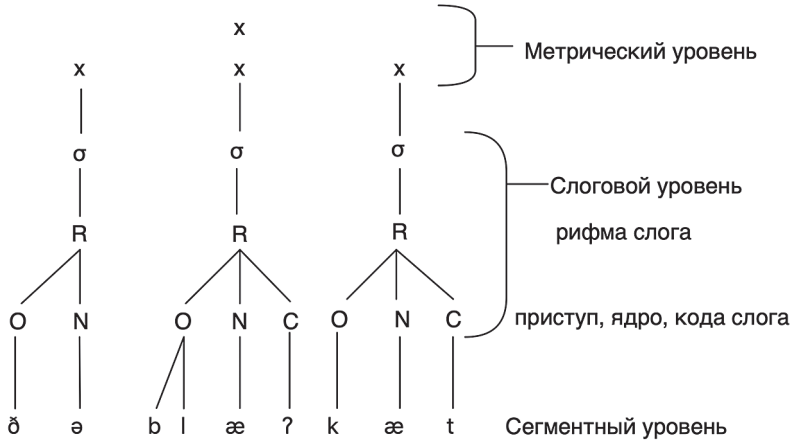


Рис. 6.4. Представление фонологической структуры фразы *the black cat* в автосегментной фонологии

На *метрическом* уровне определяется ударение: чем больше символов [x], тем сильнее ударение.

Следующий уровень в структуре – *слоговой* (обозначенный символом σ) – также обладает иерархической структурой. На этом уровне обязательным элементом является ядро слога (на схеме обозначенное N – nucleus), вокруг которого располагаются факультативные слоговые элементы: приступ (O – onset) и кода (C – coda). Ядро и кода вместе образуют так называемую рифму слога (R – rhyme).

На сегментном уровне представлена линейная цепочка фонем, образующих высказывание.

Элементы разных уровней соединены между собой вертикальными ассоциативными линями. С фонетической точки зрения эти линии отражают синхронное функционирование в речи различных признаков фонемы, расположенных на разных уровнях. Для тональных языков признаки «тон» и «гласный» также располагаются на разных уровнях. Поскольку тоны ведут себя как автономные едини-

цы, которые ассоциируются с сегментами по особым правилам, а не являются их неотъемлемой частью, теперь с одним гласным могут быть связаны и восходящий, и нисходящий тоны.

На рис. 6.5 изображена ситуация, когда в слове, состоящем из двух открытых слогов, первый гласный имеет высокий тон, а второй – низкий:

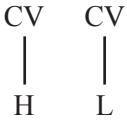


Рис. 6.5. Соотношение распределение низкого и высокого тонов в слове

На рисунке 6.6 показано распространение низкого тона на последующий гласный, в результате он произносится нисходяще-восходящим тоном.



Рис. 6.6. Распределение низкого и высокого тонов в слове

Например, в языке игбо грамматическое значение может выражается только тоном, без добавления сегментов. Это типичный случай *тональной морфологии*, которую хорошо объясняет автосегментная фонология. В качестве примера рассмотрим глагол *rí (есть)*:

- *rí* (H) – форма настоящего времени (*он ест*)
- *rì* (L) – форма прошедшего времени (*он ел*).

Мы имеем одну и ту же сегментную основу (ri), но тон различает грамматическое время.

Иерархическое представление фонологической структуры привело к изменению роли фонологических правил. Чтобы понять, в

чем заключаются основные изменения, сравним процедуру применения правил в генеративной фонологии Хомского-Халле и в автосегментной фонологии Голдсмита.

Работу правил в автосегментной фонологии и генеративной фонологии можно сравнить с действиями механиков, перед которыми стоит задача улучшить работу некоторого механизма: один механик предпочтет внести необходимые изменения, заменяя крупные узлы механизма целиком. Второй механик предпочтет более экономный вариант, и будет заменять только отдельные детали, не меняя всего узла. Работа первого механика подобна действию правил в генеративной фонологии, второй механик в нашем примере действует так, как правила в автосегментной фонологии. Иными словами, если в генеративной фонологии правила применялись к фонеме целиком, то теперь они манипулируют отдельными частями фонем, меняя сложную структуру фонем на определенных уровнях. Важно, что правило может действовать по всей длине фонетического слова, затрагивая несколько фонем, однако при этом область его действия ограничивается «в высоту»: возможно изменение структуры фонемы только на определенном уровне. Если в линейной фонологии правило изменяло фонемы путем изменения признаков (например, нисходящий тон превращался в восходящий), то в нелинейной фонологии изменение структуры понимается как замена одной части фонемы на другую. Таким образом, правила стали простым механизмом удаления и присоединения отдельных частей сложной структуры.

Данная модель позволила объяснить, как один фонологический процесс может затрагивать несколько гласных или согласных звуков одновременно. В частности, автосегментное представление фонологической структуры позволяет объяснить сингармонизм гласных и последовательное распространение процессов ассимиляции в слове.

Автосегментная фонология оказалась очень перспективным направлением, из которой стали развиваться новые. Появились такие направления, как метрическая фонология, геометрия признаков.

§ 7. Геометрия признаков

Дальнейшее развитие идей автосегментной фонологии пошло по пути более детального изучения внутренней структуры фонем. В частности, распределение фонологических единиц по уровням побудило лингвистов задуматься над вопросом, каково соотношение уровней между собой.

Американский лингвист Дж. Клементс, изучая процессы ассимиляции в разных языках, предположил, что внутри многоярусной структуры фонемы упорядочены не только дифференциальные признаки, но и уровни артикуляционных признаков, которые располагаются не в произвольном, а в иерархическом порядке.

Вместо того чтобы рассматривать фонему как простой набор признаков (например, [t] = [+согласный, +шумный, +взрывной, +зубной]), эта теория предлагает иерархическую древовидную структуру. В этой структуре признаки не являются независимыми элементами, а организованы в группы, которые, в свою очередь, подчиняются более высоким узлам. Такое представление структуры фонемы было предложено Клементсом на основе анализа процесса ассимиляции звуков по месту произношения. Оказалось, что во многих языках мира этот процесс протекает одинаково, и может быть компактно описан, если сгруппировать отдельные дифференциальные признаки в классы, соответствующие отдельным уровням. В результате фонема может быть представлена как иерархическая структура, которая. получила название *геометрии признаков.*

Лингвисты, работающие в рамках геометрии признаков, предлагают различные варианты структуры фонемы. Например, в наиболее обобщенном виде структура согласной фонемы может выглядеть так, как показано на рис. 6.7:

Таким образом, определенные дифференциальные признаки сгруппированы на самостоятельных уровнях. Такое иерархическое устройство фонемы помогает объяснить, почему фонологические правила могут применяться не к одному дифференциальному

признаку, а к целому классу. Например, процесс изменения звука в определенной позиции описывается как удаление целой ветви в структуре фонемы.

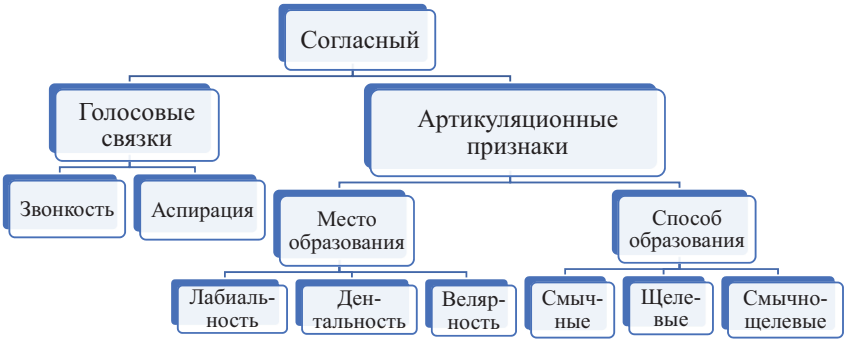


Рис. 6.7. Иерархическое представление структуры согласной фонемы

Рассмотрим несколько примеров фонологических процессов в разных языках.

Ассимиляция по месту образования в английском языке: когда носовой согласный [n] оказывается перед губным [p] или [b], он меняется на губной [m], например, in-possible произносится как [impɒsɪbəl]. Геометрия признаков объясняет это так: узел места губного согласного [p] распространяется на соседний носовой [n], заставляя его уподобиться по месту образования.

Сингармонизм гласных в турецком языке: все гласные в слове должны быть либо переднего, либо заднего ряда. Это влияет на выбор аффиксов. Например, суффикс множественного числа имеет две формы: -ler (для слов с гласными переднего ряда, например, ev – evler) и -lar (для слов с гласными заднего ряда, например, oda – odalar). Геометрия признаков моделирует этот процесс как распространение признака [±задний] ([±back]) из корневого гласного слова на все последующие гласные в аффиксах.

Оглушение согласных в русском языке: в конце слова звонкие согласные оглушаются. Например, слово *дуб* произносится как [dup]. Геометрия признаков описывает это как отсоединение гортанного узла от корневого узла согласного в конце слова, в результате чего исчезает признак [+звонкий].

Аналогичное объяснение получают сходные фонетические процессы, связанные с характеристикой звука по месту образования. Например, в английском языке согласные [k], [t], [p] в речи заменяются гортанной смычкой (glottal stop):

picture	[piʔʧə]
not now	[nɔʔ nau]
keep smiling	[kiːʔ smailiŋ]

Правило, с помощью которого можно обобщить «обеззвучивание», можно сформулировать следующим образом: «удали узел «место образования» в конце слога». Графически эту ситуацию можно показать так (рис. 6.8):

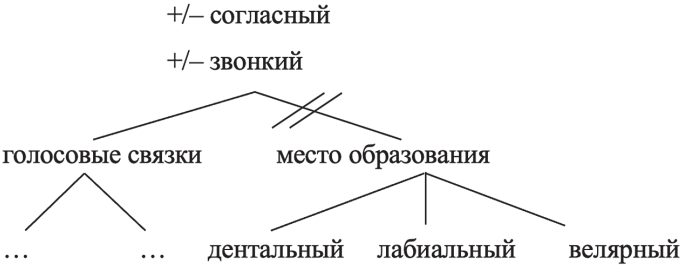


Рис. 6.8. Работа правила оглушения в геометрии признаков

Таким образом, группировка признаков в соответствии с их функциональными или артикуляционными свойствами помогает объяснить, почему некоторые звуковые изменения, например, ассимиляция, диссимиляция, элизия или метатеза происходят систематически в определенных языках.

§ 8. Теория неполной спецификации

Насколько детально может быть описана структура отдельной фонемы? Одинаково ли важны все дифференциальные признаки, которые характеризуют эту фонему? Попытка ответить на эти вопросы привела к возникновению еще одного направления исследований – *теории неполной спецификации* (Underspecification Theory). Уже из названия исследовательского направления видно, что его сторонники полагают, что ряд дифференциальных признаков в глубинной репрезентации может быть опущен. На чем основывается подобное предположение? В рамках теории неполной спецификации была высказана мысль о том, что дифференциальные признаки могут иметь разный «вес» в зависимости от того, какие звуки они описывают. Например, в русском языке дифференциальный признак «звонкость / глухость» играет важную роль в описании смычных и щелевых согласных, но в структуре сонорных, которые по умолчанию характеризуются признаком [+ звонкий], он избыточен. Еще пример: английские гласные [i], [e], [ɛ], [æ] не имеют характеристики «огубленность», и ее можно не включать в глубинную репрезентацию этих фонем. Отсутствие этого признака легко предсказуемо, поскольку эти фонемы имеют другой дифференциальный признак: [–задний ряд]. Таким образом, избыточными считаются только те признаки, которые реализуются постоянно и не подвергаются действию правил, т.е. трансформациям. В результате такого подхода фонологические репрезентации не содержат избыточных или предсказуемых признаков. Эти признаки могут заполняться в ходе фонологического вывода по определенным правилам.

Дальнейшая классификация дифференциальных признаков в теории неполной спецификации базируется на двух критериях: частоте их использования в различных фонологических процессах и роли, которую они играют в смыслоразличении.

По первому критерию дифференциальные признаки считаются *активными*, если они необходимы для различения фонем в данном

языке и часто используются в фонологических процессах. В противном случае их называют *пассивными*. Например, в русском языке дифференциальный признак [+ звонкость] активно участвует в фонологических процессах и является ключевым для идентификации фонем [b], [d], [g], [v], [z].

По второму критерию дифференциальные признаки могут быть охарактеризованы как *контрастивные*, если они участвуют в процессах смыслоразличения (например, твердость / мягкость согласных в русском языке), либо как *неконтрастивные*, если они в этих процессах не участвуют (примером такого признака в русском языке может служить придыхание: мы можем произнести звук [p] с придыханием или без него, но это никак не повлияет на значение слова). По мнению сторонников теории неполной спецификации, именно противопоставления дифференциальных звуков по их активности / пассивности и контрастивности / неконтрастивности должны использоваться в описании звуковой системы любого языка.

В рамках теории неполной спецификации существует два основных направления. Их основные различия связаны с тем, какие именно признаки считаются избыточными и как они обрабатываются.

В основе первого направления лежит идея о том, что в глубинном представлении фонем необходимо указывать только контрастивные признаки, поскольку они необходимы для различения фонем. Например, если признак глухости / звонкости важен для различения только смычных и щелевых согласных, то в описании сонорных этот признак указываться не будет как избыточный. Звонкость может быть приписана только на финальном этапе деривации при помощи так называемых *правил избыточности* (*redundancy rules*) непосредственно перед фонетической реализацией фонемы. Считается, что эти правила избыточности универсальны для всех языков.

Второе направление сокращает описание глубинной структуры фонем еще более радикально: указывается только одно, активное значение каждого признака. Например, в паре [+ звонкий] / [– звонкий] только первый вариант является активным значением призна-

ка, а [– звонкий] – пассивным. Поэтому характеристика [+ звонкий] может быть использована только в глубинной структуре звонких смычных и щелевых. Все прочие фонемы в глубинной структуре не будут определены по этому признаку. Такое радикальное упрощение глубинной репрезентации фонем требует введения дополнительных правил избыточности, которые оказываются не универсальными, а конкретно-языковыми. Роль этих правил заключается в добавлении противоположного, пассивного значения признака в самом конце фонологической деривации на основе контекста. Например, если звук не определен по месту артикуляции, это место может быть определено в зависимости от окружающих звуков. В качестве примера рассмотрим ассимиляцию согласных в английском языке: префикс *in-* перед согласным звуком может изменяться в зависимости от места артикуляции следующего согласного:

/in-legal/ → [illegal]

/in-possible/ → [impossible]

/in-relevant/ → [irrelevant]

В этих прилагательных префикс *in-* может быть не определен по месту артикуляции, и этот признак заполняется на основе места артикуляции следующего согласного.

Еще один процесс – *сингармонизм гласных* в турецком языке, когда гласные в суффиксах гармонируют с последним гласным корня по признаку «задний ряд». Например, суффикс дательного падежа имеет две формы: *-e* и *-a*. В теории неполной спецификации выбор гласного объясняется тем, что гласные в суффиксах изначально не специфицированы по признаку [± задний]. Фонологическое правило просто «копирует» этот признак из последнего гласного корня. Если последний гласный корня имеет признак [+ задний], он распространяется на суффикс. Если [– задний] – распространяется он. Таким образом, правило не «изменяет» признак, а просто его «заполняет». Например, *ev* (дом) → *ev-e* (дом-у), поскольку гласный корня [е] имеет признак [– задний]; *at* (лошадь) → *at-a* (лошад-и). Гласный корня [а] имеет признак [+задний].

Ассимиляция по звонкости в русском языке, когда глухой согласный, находящийся перед звонким, озвончается (молоть-ба → [molod'ba]), может быть объяснена с помощью контрастивной неполной спецификации. В этой версии теории фонологическая репрезентация согласных специфицирует только те признаки, которые необходимы для различения. Можно предположить, что звонкие согласные имеют признак [+ звонкий], а глухие не специфицированы по этому признаку (т.е., имеют «пустое» значение). Правило ассимиляции просто распространяет признак [+ звонкий] от следующего согласного на предыдущий, заполняя «пустое» значение. Правило озвончения является активным, а оглушение (в обратную сторону, когда глухой согласный влияет на звонкий) – это пассивный процесс, при котором признак [+ звонкий] просто не распространяется.

Таким образом, теория неполной спецификации основана на идее о том, что фонологические системы всех языков стремятся к экономии, поэтому избыточные или предсказуемые признаки могут не указываться в глубинном представлении. Упрощение глубинной структуры фонем оказывается возможным, поскольку сочетания некоторых дифференциальных признаков предсказуемы и универсальны для всех языков. Универсальность обеспечивается возможностями нашей артикуляции: например, не бывает глухих гласных и глухих сонорных. Во-вторых, происходит упрощение фонологических правил, поскольку из области их действия исключаются те дифференциальные признаки, которые отсутствуют в глубинной репрезентации фонем.

§ 9. Теория оптимальности

Дальнейшее развитие формального моделирования фонологического уровня связано с переносом внимания с процесса порождения фонологической структуры высказывания на конечный результат. Изменился взгляд как на структуру моделей, так и на роль правил. Например, сомнению была подвергнута психолингвисти-

ческая реальность существования промежуточных уровней репрезентации, которые были предложены в генеративной фонологии. В связи с этим возник вопрос о том, насколько вообще необходимы промежуточные уровни представления, возникающие в процессе порождения фонологической структуры высказывания.

Изменился также взгляд на роль правил. Как только лингвисты пришли к выводу о существовании универсальных принципов, в соответствии с которыми формируется фонологический облик высказывания, возник вопрос, нужны ли правила вообще?

Ориентация на результат работы фонологического компонента характерна для группы теорий, которые получили название *теорий гармонии*. Теории гармонии опираются на идеи нелинейной генеративной фонологии. Их характерной чертой является отказ от использования системы конкретных правил, которые применяются в заданном порядке. Вместо правил предлагаются так называемые *принципы гармонии* (well-formedness conditions) – Например, в русском языке придыхание не имеет смыслоразличительной функции: мы можем произнести звук [р] с придыханием или без него, но это никак не повлияет на значение слова.

Одной из теорий, в рамках которой выявляются условия правильности формирования поверхностных структур, является *Теория оптимальности*. Эта модель была представлена в 90-х годах XX века А. Принсом и П. Смоленски. Изначально идеи теории оптимальности разрабатывались для описания фонологического уровня, однако сегодня эта модель также применяется для описания морфологии и синтаксиса.

Аналитическая структура теории оптимальности перевернула некоторые давние фундаментальные предположения в порождающей фонологии, например, идею о центральной функции правил, которые преобразуют абстрактные глубинные формы в поверхностные; опору на фонологические правила для получения единого результата из глубинного представления; стремление использовать правила в строгом порядке.

В рамках теории оптимальности произошел сдвиг с процесса, управляемого правилами, на результат языковой деятельности. Система правил заменяется моделированием *законов фонотактики и их взаимодействия*. Именно законы сочетания фонем определяют конечный результат работы фонологического компонента. Законы фонотактики функционируют как ограничения, которые конкурируют между собой. Результатом такой конкуренции является оптимальная с точки зрения носителя языка поверхностная фонологическая форма высказывания. Важно, что эти ограничения действуют на уровне поверхностной, а не глубинной репрезентации.

В теории оптимальности существует только два уровня фонологического представления – глубинный и поверхностный. В результате пошаговый процесс порождения слова оказывается ненужным. Соответственно, отпадает необходимость в промежуточных уровнях.

Фонологический модуль является системой статичных принципов гармонии, к которым относятся универсальные принципы, например, принцип построения слога, а также принципы, которые определяют возможность или невозможность сочетания фонем в конкретном языке.

Теория оптимальности исходит из представления, что ограничения, т.е. принципы гармонии обладают следующими свойствами:

- они являются универсальными для всех языков;
- они могут конфликтовать друг с другом;
- они образуют строгую иерархию.

Фонологический уровень – это плодородная почва для потенциальных конфликтов. Например, существует конфликт между легкостью артикуляции и необходимостью воплощать в звуках смыслоразличительные признаки. Другой пример конфликта можно наблюдать между стремлением к фонологической регулярности и потребностями в морфологических чередованиях. Наконец, в неко-

торых ситуациях конфликтуют сегментные и супрасегментные фонологические единицы.

В рамках теории оптимальности предложены объяснения, почему эти и другие внутрисистемные конфликты разрешаются тем или иными способом: фонологическая система языка не «применяет правила», а «выбирает» наиболее оптимальную форму из множества возможных, исходя из того, насколько хорошо она удовлетворяет ранжированной иерархии ограничений.

В Теории оптимальности используется три формальных компонента: Генератор (GENerator), оценочный механизм (EVALuator), а также система ранжированных ограничений (CONstraint), на основе которых проводится оценка кандидатов. Работа этих компонентов основана на трех положениях: во-первых, существует набор данных на входе системы. Для каждой словоформы генератор создает набор потенциальных кандидатов на выход. На следующем шаге из имеющегося набора кандидатов оценочный механизм выбирает наиболее оптимальный вариант. Третье положение состоит в том, что в каждом конкретном языке существует своя система ранжирования ограничений.

Схема работы модели представлена на рис. 6.9.

Информация на входе – это лексемы, к которым не применялись никакие ограничения. Далее генератор порождает множество кандидатов, т.е. все варианты реализации лексем в высказывании, которые получаются в результате анализа входной информации. При этом применяются самые общие критерии грамматической и фонетической правильности. Например, на фонетическом уровне это могут быть правила, которые касаются слоговой или фразовой ритмической структуры.

Механизм оценки производит отбор оптимального кандидата, применяя к каждому кандидату иерархию ограничений. Среди сторонников теории оптимальности ведутся дискуссии по поводу универсальности набора ограничений, но в самом общем виде инвен-

тарь ограничений – это простые, но конфликтующие между собой утверждения о том, какую форму должен иметь результат работы модели. Поскольку ограничения конфликтуют между собой, любой результат работы модели будет нарушать некоторые из них. Логично было бы ожидать, что нарушения приведут к неграмматичности высказывания. Однако такие ограничения далеко не всегда приводят к такому результату: оптимальными оказываются такие структуры, нарушения в которых минимальны.

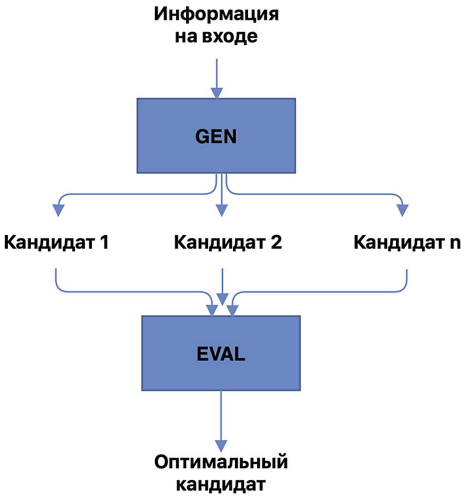


Рис. 6.9. Схема работы алгоритма теории оптимальности

Теория оптимальности исходит из того, что внутри языковой системы действует своеобразная иерархия ограничений – чем более высокое место в иерархии занимает ограничение, тем чаще оно реализуется. Решение принимается в результате параллельной оценки возможных вариантов «конечного продукта». Иерархия принципов гармонии является строгой, т.е. если принцип A занимает в иерархии более высокую позицию, чем принципы B, C, и D, то кандидат,

который нарушает условие A, будет всегда «побежден» кандидатом, который удовлетворяет условию A, даже если он нарушает принципы B, C, и D.

Если набор ограничений может быть универсальным, то иерархии, которые образуют эти ограничения, являются специфическими для каждого языка.

Рассмотрим, как происходит выбор кандидата на примере языка тагалог (Филиппины), где наблюдается инфиксация:

Um + aral ⟶ um – aral (учить)

Um + sulat ⟶ s – um – alat (писать)

Um + gradwet ⟶ gr – um – adwet (окончить школу)

Это явление анализируется в терминах просодических ограничений: часть слова отделяется от основы, и между образовавшимися частями вставляется инфикс. Обратим внимание на то, что ограничение накладывается только на начало первого слога, если оно состоит из согласных. Можно предположить, что просодические правила языка тагалог требуют отделения первого согласного. Однако, если мы введем правило, согласно которому отделяется только первый согласный слога, мы не сможем объяснить третий пример (там отделяется два звука). Следовательно, дело не только в количестве согласных в начале слога. При внимательном анализе оказывается, что перед нами – конфликт фонологических и морфологических ограничений. Фонологическое ограничение можно сформулировать следующим образом:

а) *слоги должны быть открытыми*.

Морфологическое ограничение будет таким:

б) *префикс должен помещаться максимально близко к левому краю (т.е. к началу) слова*.

С помощью табл. 6.4 проанализируем, как конкурируют между собой варианты реализации этих ограничений.

Таблица 6.4

Выбор оптимального кандидата

Кандидаты	**Открытый слог**	**Префикс слева**
Um – grad – wet	*!	
Gum – rad – wet	*!	g
Gru – ma – dwet		gr
Gra – dwu – met		Gradw!

Такая таблица читается слева направо и сверху вниз. В первом и втором случаях мы видим нарушение принципа открытого слога, и для языка Тагалог это более важный в иерархии признак. Поэтому мы можем не проверять позицию префикса. Остается сравнить третий и четвертый варианты. По первому ограничению ни один из них не имеет преимущества, но по морфологическому ограничению оптимальным оказывается третий вариант – именно его и принимает языковая система в качестве окончательной реализации словоформы.

Образование языковой формы с нарушением более значимых ограничений является менее предпочтительным, однако нарушение тех или иных ограничений не означает, что такая форма не может быть избрана из множества возможных. Фонологический компонент избирает лишь наиболее оптимальную форму, то есть форму, нарушающую минимальное количество наименее значимых ограничений по сравнению со всеми другими языковыми формами.

Все ограничения могут быть разбиты на два класса. Ограничения первого класса – их называют ограничениями верности (faithfulness constraints) – требуют, чтобы выходная форма была максимально похожа на входную. Эти ограничения предотвращают изменения. К ограничениям этого класса относится, например, ограничение IDENT-IO(X) – «сохрани признак X». Это ограничение требует, чтобы некоторый фонологический признак (например, звонкость или

мягкость) в выходной форме был таким же, как во входной. Ограничение DEP, которое звучит как «не добавляй сегменты», запрещает вставку новых звуков (эпентезу).

Ограничения второго класса – это так называемые ограничения маркированности (markedness constraints) – требуют, чтобы выходная форма соответствовала общим предпочтениям, т.е. была бы «простой» и «естественной», поэтому они вызывают изменения в этих формах. Например, появление эпентезы в некотором языке свидетельствует о том, что ограничения по маркированности, требующие, чтобы оптимальный кандидат соответствовал определенной слоговой структуре, являются более значимыми в иерархии данного языка, чем ограничения верности, запрещающие наличие дополнительных элементов в структуре слова.

В качестве упрощенного примера рассмотрим эпентетическую вставку в некоторых формах множественного числа английских существительных:

cat + *s* → *cats,* но *class* + *s* → *classes.*

В первом случае форма *cats* удовлетворяет всем ограничениям по маркированности: эта поверхностная форма соответствует правилам языка и может быть легко произнесена говорящим. В конкуренции ограничений побеждает ограничение верности, когда результат максимально близок данным на входе. В случае со словоформой *class* + *s* срабатывает ограничение по маркированности, которое запрещает форму **classs* как неудобную и неестественную. Поскольку этот вид ограничений имеет приоритет, то ограничение первого класса оказывает побежденным, а на выходе форма с эпентетической вставкой *classes* оказывается более предпочтительной по сравнению с формой **classs*.

Теория оптимальности показывает, что языковые явления самых разных языков могут описываться как результаты действия иерархии ограничений. Языки мира различаются только тем, каким образом упорядочены ограничения внутри этой иерархии.

Сегодня теория оптимальности является одной из ведущих формальных фонологических теорий в западной лингвистике. Ученые объясняют это тем, что идея ранжирования ограничений присутствовала имплицитно и в более ранних фонологических исследованиях, однако в явном виде она была сформулирована именно в рамках Теории оптимальности.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается основное различие между *статическими описательными* и *динамическими* моделями в фонологии? Какова практическая цель создания динамических моделей?
2. Что такое *глубинное* и *поверхностное* представление в генеративной фонологии Н. Хомского и М. Халле? Почему отказ от чисто «поверхностного» описания был принципиально важным?
3. Как в генеративной фонологии формально представлялась фонема? Приведите пример матрицы дифференциальных признаков для класса звуков (например, шумных согласных).
4. В чем состояла главная критика классической генеративной фонологии Н. Хомского и М. Халле с точки зрения ее психолингвистической реальности? Какие аспекты модели выглядели искусственными?
5. Каковы были ключевые отличия «Естественной порождающей фонологии» Т. Феннеманна от классического генеративизма? На чем делали акцент ее создатели?
6. Сравните принцип применения фонологических правил в генеративной фонологии Хомского-Халле и в «Естественной порождающей фонологии». Какой из них является циклическим/итеративным?
7. Объясните центральную идею лексической фонологии. Как в этой модели взаимодействуют фонология и морфология, и на каком принципе построено это взаимодействие?

8. В чем состоит коренное отличие механизма работы правил в двухуровневой фонологии К. Коскенниеми от генеративной фонологии?

9. Какие практические преимущества для компьютерной лингвистики дает свойство двунаправленности правил в двухуровневой фонологии?

10. Какую фундаментальную проблему линейных моделей была призвана решить автосегментная фонология Дж. Голдсмита? Приведите пример явления (например, из тональных языков), которое трудно описать линейно.

11. Что означает *нелинейность* фонологического представления в автосегментной фонологии? Как графически изображается связь между, например, сегментами и тонами или слоговой структурой?

12. Как изменилось понимание внутреннего устройства фонемы в геометрии признаков по сравнению с генеративной фонологией? Проиллюстрируйте ответ схемой или примером.

13. Как теория неполной спецификации объясняет стремление языковой системы к «экономии»? Что такое «избыточные» или «предсказуемые» признаки, и как с ними предлагается работать?

14. Приведите пример фонологического процесса (например, сингармонизм или ассимиляция по звонкости) и объясните его с позиций двух разных теорий: геометрии признаков и теории неполной спецификации.

15. В чем состоит принципиальный философский сдвиг, предложенный теорией оптимальности по отношению к классическому генеративизму?

16. Назовите и охарактеризуйте три основных формальных компонента модели теории оптимальности. Какова роль каждого из них?

17. Как в теории оптимальности разрешается конфликт между конкурирующими ограничениями? Почему «оптимальный» кандидат не обязательно является идеальным (не нарушающим никаких ограничений)?

18. Используя логику теории оптимальности, объясните на примере (например, с инфиксацией в тагальском языке или образованием множественного числа в английском), как происходит выбор оптимальной поверхностной формы из множества кандидатов.

19. Проследите эволюцию отношения к **правилам** в формальных фонологических моделях, описанных в главе: от центрального и строго упорядоченного механизма в генеративной фонологии до их полной замены в теории оптимальности. Какие этапы (модели) были ключевыми на этом пути?

Практические задания

1. Даны русские слова в фонетической транскрипции: [лодок], [лотка]. Считая, что их общий морф – /лотк-/, представьте фонемы /т/, /д/, /к/ в виде матриц дифференциальных признаков (используйте признаки типа [± согласный], [± звонкий], [± взрывной], [± заднеязычный]). Сформулируйте и запишите в виде правила A → B / X__Y процесс регрессивной ассимиляции по глухости/звонкости, который объясняет чередование [т] / [д] в корне. Покажите пошаговый вывод поверхностной формы [лодка] из глубинной /лотк-а/, применяя ваше правило.

2. В гипотетическом языке возможны два процесса, затрагивающие гласный [а] в определенных позициях:

- Правило A (назализация): [а] → [ã] / __ [+носовой согласный]
- Правило B (передвижение): [ã] → [õ] / [#начало слова] __ (т.е. в начале слова).

Дана глубинная форма: [#*anas*].

- Примените правила в порядке A → B. Какая получится поверхностная форма?
- Примените правила в порядке B → A. Какая получится поверхностная форма?
- Какой порядок правил выглядит более реалистичным с фонетической точки зрения? Почему?

3. В гипотетическом языке действуют два параллельных процесса: оглушение конечных звонких взрывных: [b] → [p] в конце слова и вставка гласного [ɨ] после конечных групп согласных типа «взрывной+сонант». Даны глубинные (лексические) формы: [tab], [sakn]. Запишите оба правила в формате двухуровневой фонологии: (глубинный_символ : поверхностный_символ) ⇔ Контекст. Постройте таблицы соответствия для поверхностных форм. Покажите, как в одной цепочке могут одновременно работать оба правила.

4. Разберите морфемный состав английского слова *unhappiness*. Создайте гипотетическую схему его порождения в лексической фонологии. Предложите, на каком из уровней (1–4, см. текст) могли присоединиться суффикс *-ness* и префикс *un-*. Какие фонологические правила могли сработать на каждом уровне? Объясните, почему это слово могло бы стать проблемой для строгой последовательности уровней (как в примере с *light-hearted-ness* в тексте).

5. В языке *йоруба* есть слово [áká] (с высоким тоном на обоих слогах) и [àkà] (с низким тоном на обоих слогах). Изобразите автосегментные представления для этих слов. Используйте два уровня: сегментный (CV-скелет или просто слоги) и тональный (H – высокий, L – низкий). Соедините уровни ассоциативными линиями.

6. Рассмотрите процесс назальной ассимиляции в английском: префикс *in-* становится *im-* перед губным согласным (*impossible*). Схематично изобразите геометрию признаков для [*n*] (альвеолярный носовой) и [*p*] (губной взрывной), выделив узел *Место образования* и его дочерние узлы [Лабиальный] и [Корональный]. Покажите стрелкой, как в слове *impossible* узел [Лабиальный] от согласного [p] «распространяется» на предшествующий носовой, заменяя его альвеолярное место образования на губное.

7. Рассмотрите систему русских гласных [i, e, a, o, u]. Используя бинарные признаки ([± верхний], [± нижний], [± задний], [± огубленный]), составьте для них полную матрицу признаков. Определите, какие признаки в этой матрице являются контрастивными для различения фонем, а какие – избыточными. Например, можно ли

предсказать признак [огубленный], зная другие признаки гласного? Запишите «экономные» глубинные представления для [i] и [u], указав только контрастные признаки.

8. Выберите одно из двух явлений:

а) *сингармонизм гласных* (все гласные в слове одного ряда)

б) *циклическое перемещение ударения* (ударение в производном слове определяется основой, а не аффиксом).

Для выбранного явления: объясните, как его можно было бы описать в лексической фонологии. Какие преимущества дает многоуровневый конвейер? Объясните, как это же явление может быть описано в теории оптимальности. Какие ограничения вступили бы в конфликт?

Сравните оба подхода. Какой из них, на ваш взгляд, дает более простое и элегантное объяснение для этого конкретного явления?

9. Напишите короткое эссе (1–1,5 страницы) на тему «*Эволюция правила в формальной фонологии: от алгоритма к ограничению*».

- Проследите, как менялся статус и роль фонологических правил от модели Хомского-Халле к теории оптимальности.
- Упомяните ключевые поворотные точки: свободный/циклический порядок (естественная фонология), уровень применения (лексическая фонология), параллелизм (двухуровневая фонология), манипуляция субъединицами (автосегментная фонология и геометрия признаков).
- Сделайте вывод: что, на ваш взгляд, является главным двигателем этой эволюции: стремление к психолингвистической адекватности, к большей описательной силе, или к формальной элегантности и универсальности?

Глава 7

ФОРМАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

В этой главе речь пойдет о формальных моделях морфологического уровня. Поскольку морфемы как минимальные знаки языка обладают собственной формой и значением, морфология служит связующим звеном между звуковой и смысловой организацией высказывания. В ранних этапах генеративной грамматики морфология недооценивалась, однако разнообразие морфологического строя языков показало необходимость выделения ее как автономного уровня. Типологическое разнообразие языков на морфологическом уровне является причиной того, что моделирование морфологии может идти разными путями; словообразовательные процессы могут быть связаны как с фонетическими, так и синтаксическими явлениями.

В главе обсуждаются современные формализмы: просодическая морфология, объясняющая неконкатенативные процессы через иерархические просодические структуры; двухуровневая морфология, использующая соответствия между глубинными и поверхностными представлениями; распределенная морфология, интегрирующая морфологические операции в синтаксис и фонологию, где звуковые формы вставляются поздно; парадигматическая морфология и парадигматическая функциональная морфология, рассматривающие морфологию как систему соотношений между ячейками парадигмы и набором правил реализации.

Глава демонстрирует эволюцию взглядов от линейных моделей к иерархическим и сетевым, а также растущую роль морфологии в генеративном описании языка и ее практическую значимость для автоматической обработки речи.

§ 1. Классификации морфологических моделей

Морфологический уровень играет чрезвычайно важную роль в языковой системе, поскольку морфема – это мельчайшая единица языка, которая демонстрирует основные признаки знака: она обладает и означающим (формой), и означаемым (значением). На морфо-

логическом уровне становится возможным соотнесение смысловых компонентов высказывания с компонентами его звуковой структуры. Однако при всей важности морфологического уровня на ранних этапах формального моделирования ему практически не уделялось внимания, а его функции передавались в ведение либо фонологического, либо синтаксического блока.

Необходимость самостоятельного моделирования морфологического уровня языка была осознана не сразу: многие лингвисты отказывались считать морфологический уровень отдельной языковой подсистемой. Одной из причин такого отношения к морфологии было то, что основные исследования и построение формализмов велись на материале английского языка, морфология которого считается относительно бедной по сравнению с другими языками. Однако обращение к данным других языков заставило лингвистов признать необходимость моделирования морфологического уровня. Создание отдельного морфологического блока позволяет описывать многие языковые явления наиболее экономным способом, при этом во многих моделях морфология моделируется в тесной связи с другими уровнями языка: фонетическим и синтаксическим.

Сегодня морфологические модели находят широкое практическое применение в автоматизированных системах обработки языка. В зависимости от целей моделирования, морфологическая модель должна либо осуществлять морфологический синтез (т.е. по заданным лексико-грамматическим характеристикам порождать множество словоформ), либо производить морфологический анализ (т.е. давать лексико-грамматическую характеристику словоформ).

Типологическое разнообразие языков на морфологическом уровне давно привело лингвистов к пониманию того, что возможны различные способы моделирования этого уровня. В результате мы можем наблюдать большое разнообразие морфологических моделей.

Одной из первых их классификаций стала классификация Чарльза Хоккета, который выделял *три типа морфологических моделей*:

1) *элементно-комбинаторные* (Item and Arrangement; IA-модели);

2) *элементно-операционные* (Item and Process; IP-модели);

3) *словесно-парадигматические* (Word and Paradigm; WP-модели).

Каждый из названных типов ориентирован на описание языков определенных типов.

Элементно-комбинаторные модели (IA-модели) фокусируются на том, как морфемы комбинируются для образования словоформ. Считается, что у каждой морфемы есть своя функция и свое значение, поэтому этот тип моделей тесно связан со статическим дескриптивным подходом к языку, основанным на представлении о языке как о не меняющемся во времени явлении. IA-модели преимущественно ориентированы на описание языков агглютинативного типа, в которых морфемы подобны конструктору: они выражают единственное грамматическое значение и допускают однозначную сегментацию. Статичность проявляется и в отношении к морфемам – они воспринимаются как однозначные постоянные единицы.

Морфемы сочетаются друг с другом на основе комбинаторных правил, которые определяют, какие морфемы могут сочетаться для формирования грамматически правильных и семантически значимых слов. В словаре морфемы существуют в своей окончательной форме, а правила просто определяют, как они должны быть скомбинированы.

Элементно-комбинаторный подход к морфологии предполагает, что слова конструируются так же, как и предложения, поэтому структура слов становится как бы «видимой» на синтаксическом уровне и становится доступной для синтаксического анализа. Поэтому возможно изображение синтаксической и морфологической структуры предложения в виде дерева (рис. 7.1):

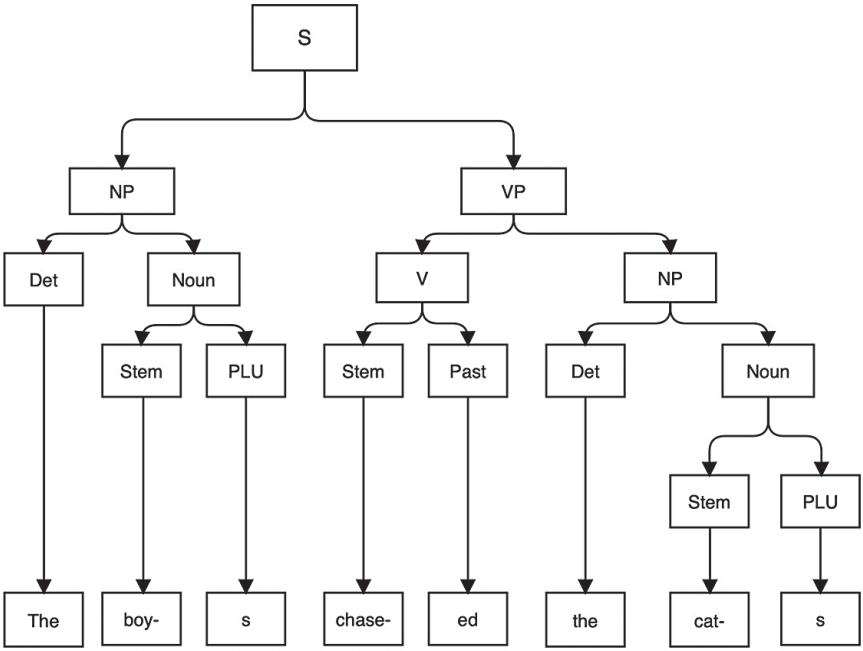


Рис. 7.1. Представление морфологической структуры словоформ в виде дерева в элементно-комбинаторных моделях

Поскольку структура словоформ описывается как комбинация морфем, в элементно-комбинаторных моделях нет четкой границы между морфологией и синтаксисом.

Элементно-операционные модели реализуют динамический подход к морфологии. Уже из самого названия этих моделей понятно, что в них морфологическая структура словоформ рассматривается как совокупность базовых элементов и операций, которые применяются к этим элементам для построения словоформ. Проще говоря, вместо того чтобы рассматривать словоформу *«сделал»* как последовательность морфем *с-*, *-дел-* *-а-*и *-л*, как это происходит в

IA-моделях, IP-модель видит это как результат применения операции прошедшего времени к основе *делать*.

IP-модели учитывают роль операций, например, добавления, удаления, замены или перестановки морфем, в процессе словообразования. Элементно-операционные модели позволяют учитывать исторические изменения языка, а также те изменения, которые связаны с процессом реального функционирования словоформ.

Динамичность данного подхода по отношению к морфемам проявляется в следующем: некоторые алломорфы рассматриваются как исходные, а другие – как производные, которые могут быть получены из исходных путем применения различных операций. Морфемы становятся не просто элементами, «кирпичиками», из которых складываются слова, а процессами добавления, изменения (например, гласной в корне – *sing* → *sang*), удаления, супплетивизма и т.д.

Предполагается, что такие операции отражают реальные диахронические изменения. Такие модели ориентированы на объяснение варьирования алломорфов, но они требуют создания сложного формального аппарата описания чередований.

В большинстве элементно-операционных морфологических моделей вводится один или несколько дополнительных уровней представления словоформ; на глубинном уровне варьирование алломорфов устраняется, в результате каждая морфема имеет единственное глубинное представление. Определяются правила перехода к поверхностной репрезентации. Этими правилами определяется изменение внешнего вида морфемы. Например, при образовании форм глаголов прошедшего времени в английском языке исходным элементом является глагольный корень. Для большинства глаголов используется операция добавления морфемы *-ed*, например, *talk – talked*. Однако для неправильных глаголов действует другая операция – замена корня, например, *go* → *went* или *sing* → *sang*.

При элементно-операционном подходе морфемы недоступны для синтаксического анализа, а морфология и синтаксис считаются различными языковыми уровнями. Элементно-операционные модели акцентируют внимание на процессах и операциях, которые применяются к морфемам для создания словоформ. Поэтому они удобны для описания флективных языков, в которых много морфонологических чередований.

Чтобы лучше понять различия между IA-моделями и IP-моделями, рассмотрим объяснение образование слова *ручка* от слова *рука*:

- IA-модель: слово *ручка»* состоит из корня *руч-*, суффикса *-к-* и окончания *-а*. Корень *руч-* просто считается алломорфом корня *рук-*.
- IP-модель: слово *рука* имеет глубинную форму [рук-а]. Чтобы образовать слово *ручка*, мы применяем операцию «добавить суффикс *-к-*», и затем морфонологическое правило, которое вызывает чередование согласных: [к] переходит в [ч] перед суффиксом: [*рук-*] + *-к-* → [рук-к] после применения правила [*к*] → [*ч*] / __ *к* дает [*руч-к*].

Такое объяснение является более экономичным и элегантным, так как оно не требует хранить в словаре два отдельных корня (*рук-* и *руч-*). Вместо этого, мы храним один корень и одно универсальное правило.

Разграничение морфологии и синтаксиса существует и в *словесно-парадигматических моделях* (или WP-моделях). В этом типе моделей слово рассматривается как совокупность словоформ, образующих парадигму, поэтому словоформа, а не морфема оказывается минимальной значащей единицей. Проще говоря, словесно-парадигматическая модель описывает слово *столы* не как *стол* + *-ы*, а как форму множественного числа, именительного падежа, которая находится в парадигме слова *стол*. Так словесно-парадигматиче-

ские модели описывают, как определенные грамматические значения (например, «единственное число», «мужской род» и «дательный падеж») реализуются в виде одной конкретной словоформы.

В словесно-парадигматических моделях важная роль отводится принципу аналогии: в одну группу попадают словоформы, которые образованы по одному образцу. Вместо правил, которые объясняют, как образуется одна форма из другой, WP-модель описывает отношения между разными формами в пределах одной парадигмы. Например, она констатирует, что форма *корова* находится в таком же отношении к форме *коровы*, как *трава* к словоформе *травы*. Это основа для аналогии в языке. В соответствии с принципом аналогии могут порождаться новые словоформы.

Исторические изменения также объясняются с помощью принципа аналогии: нерегулярные словоформы, не подчиняющиеся действующему образцу, заменяются на регулярные, созданные в соответствии с этим образцом. Так произошло с английским прилагательным *older*, которое заменило словоформу *elder* в соответствии с моделью, по которой образуются английские прилагательные в сравнительной степени.

Сильной стороной WP-моделей является их способность объяснять супплетивизм (полное изменение основы) и нерегулярные формы. Например, IA- и IP-модели пытаются объяснить, как форма *хороший* превращается в *лучше*, но это сложно, так как никаких стандартных правил образования здесь нет. WP-модели просто утверждают, что формы *хороший* и *лучше* – это два элемента одной и той же парадигмы прилагательного. Они связаны друг с другом по аналогии, а не по правилу. Это позволяет избежать сложных и неестественных правил, которые потребовались бы для объяснения таких случаев в других моделях.

Сравнение свойств, возможностей, сильных и слабых сторон трех типов моделей представлено в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Свойства и возможности IA-моделей, IP-моделей и WP-моделей

Критерий	IA-модель (элементно-комбинаторная	IP-модель (элементно-операционная	WP-модель (словесно-парадигматическая
Тип языка	Агглютинативные	Флективные	Флективные языки и языки с развитой парадигматикой
Базовая единица	Морфема	Словоформа	Слово
Как рассматривается слово	Слово как комбинация готовых морфем	Слово как результат применения правил к основе	Слово как набор форм, составляющих парадигму
Основной механизм	Комбинирование (конкатенация) элементов	Применение правил к основе	Отношения между формами в парадигме
Сильные стороны	Простота структуры, доступность для синтаксического анализа	Объясняет чередования и исторические изменения морфем	Объясняет нерегулярные формы
Слабые стороны	Не объясняет чередования и исторические изменения морфем	Требуется много абстрактных правил словоизменения	Слабо объясняет, как носители агглютинативных языков хранят в готовом виде все словоформы

§ 2. Развитие формальных морфологических моделей

В ранних версиях генеративной грамматики морфологии отводилась второстепенная роль, на первом был синтаксис. Самостоятельного морфологического блока в стандартной версии генеративной грамматики не было, а все необходимые операции на морфемном уровне были переданы в ведение синтаксического и частично фонологического блоков. Считалось, что словоформы создаются с помощью трансформаций – правил, которые применялись к глубинным синтаксическим структурам.

Структура слова рассматривалась как последовательность морфем, изоморфная структуре предложения, как это делается в элементно-комбинаторных моделях. Чередования и другие изменения формы морфем моделировались на фонологическом уровне.

Именно проблема морфонологических чередований стала камнем преткновения в ранней версии генеративной грамматики. Попытка хранить все морфемы в их глубинной форме и учитывать произошедшие с ними исторические изменения путем введения дополнительных правил усложняли модель. Поэтому генеративистам пришлось добавить самостоятельный морфологический уровень. Уже в расширенной стандартной теории (также известной как *лексикалистская гипотеза*) взгляд на морфологию кардинально изменился: морфологический блок стал существовать автономно от синтаксиса. Работа синтаксического блока стала считаться менее продуктивной и более зависимой от свойств лексических единиц, чем представлялось на ранних этапах развития генеративной грамматики. Сложность структуры слова объяснялась не только процессом синтаксической деривации, но и словообразованием. Например, в начале 1970-х гг. М. Халле описывал морфологический блок как сочетание трех компонентов: лексикона, правил построения словоформ и фильтра для слов-исключений.

Халле предположил, что многие грамматические процессы происходят внутри лексикона, перед тем как слова попадают в синтак-

сический блок. Именно лексикон становится источником для синтаксических и морфологических процессов. Список морфем в лексиконе и правила образования и изменения словоформ позволяют задавать все потенциально возможные слова. Фильтр отсеивает неграмматичные или нежелательные словоформы, которые были сгенерированы морфологическими правилами. Его задача – гарантировать, что в синтаксический блок попадут только те слова, которые реально существуют в языке или являются допустимыми. Фильтр может блокировать образование слов регулярным способом, если в языке уже есть нерегулярная форма. Например, в русском языке есть форма *лучше*, поэтому задача фильтра – заблокировать вариант **хорошее*. Аналогично в английском языке фильтр не должен пропустить словоформу **goed*, так как уже есть форма *went*.

Всем морфологически возможным, но не существующим в языке словам фильтр исключений приписывает признак [– LEXICAL ITEM]. Результаты работы морфологического компонента – словоформы – поступают в синтаксический блок.

После работы синтаксического блока осуществляется словоизменение в соответствии с теми грамматическими характеристиками словоформы, которые были определены на этапе работы синтаксиса.

В стандартной теории генеративной грамматики морфология прошла путь от подчиненного синтаксису процесса (трансформаций) до отдельного, независимого компонента. Это изменение, вызванное лексикалистской гипотезой, привело к четкому разграничению между словообразованием и словоизменением и добавило важный механизм фильтрации для объяснения, почему не все теоретически возможные слова существуют в языке. Лексикализм стал одной из первых моделей, в которой была реализована идея о центральной роли лексикона в грамматике: деривация происходит в лексиконе до синтаксической обработки, а лексические правила могут оказывать влияние на синтаксическую структуру предложе-

ния. Кроме того, именно в лексиконе учитываются исключения и нерегулярные формы, которые трудно описывать с помощью универсальных синтаксических правил.

§ 3. Просодическая морфология

«Посреднический» статус морфологии заставляет исследователей моделировать этот языковой уровень в связке либо с фонологическим, либо с синтаксическим уровнем. Примером модели, в которой морфологические явления тесно связаны с фонетическими, является лексическая фонология, рассмотренная в предыдущей главе. Еще одна модель, цель которой – объяснение связи между морфологическими и фонологическими явлениями – получила название *просодическая морфология*.

Эта модель появилась в результате обращения к языкам, которые по своей морфологической структуре значительно отличаются от индоевропейских. Известно, что для образования словоформ языки могут пользоваться разнообразными морфологическими техниками. Эти техники можно условно разделить на две группы:

1) *конкатенативные* способы образования слов, суть которых – последовательное присоединение морфем (например, префиксация или суффиксация), при этом границы между морфемами остаются более или менее четкими;

2) *неконкатенативные* способы образования слов, т.е. такие, в которых процессы словообразования и словоизменения происходят за счет инфиксации, редупликации и аблаута.

Морфология языков, в которых используется конкатенативная техника, может быть описана линейно, в то время как морфологические явления, не связанные с конкатенацией, не могут быть описаны линейно, т.к. морфемы в таких языках либо не имеют постоянного звукового состава, либо не имеют постоянной позиции в слове.

В качестве примера неконкатенативности рассмотрим редупликацию, когда к основе добавляется несколько начальных или конечных звуков корня. В языке илокано (на этом языке говорят на Филиппинах) формы множественного числа существительных образуются путем повторения нескольких начальных звуков слова:

Единственное число	**Множественное число**
kaldíŋ (козел)	*kal-kaldíŋ* (козлы)
ubing (ребенок)	*u-ubing* (дети)
babai (женщина)	*ba-babai* (женщины)

Линейные модели не подходят для описания морфем, если у них нет постоянного звукового состава. Однако, если представить структуру слова не линейно, а иерархически, можно увидеть, что морфемы в таких случаях имеют форму, которая подчиняется определенным правилам, описывающим просодическую структуру новой словоформы.

По сути, просодическая морфология – это попытка применить идеи автосегментной фонологии к морфологическому уровню и описать *неконкатенативные морфологические процессы*. За основу описания берется не фонемный состав морфем, а их просодическая форма. Как и в автосегментной фонологии, в описании структуры слова используются ассоциативные линии и уровни (ярусы).

Предполагается, что всю информацию, которую несет морфема, можно разложить по уровням. Существует группа уровней, на которых содержится информация о сегментной структуре слова. Ее можно кратко представить следующим образом:

Просодическое слово	*Pr Word*
Стопа	*Foot*
Слог	σ
Мора	μ

Мора (лат. *mora* – промежуток времени, пауза) – это термин, который использовался в античном стихосложении, где мора – это нормальная продолжительность произнесения краткого слога, самая малая единица счета времени в стихе. Все остальные единицы стиха оказываются кратными море:

1 краткий слог = 1 мора.

1 длинный слог = 2 моры.

Стопа ямба = 1 короткий слог и 1 длинный = 3 моры.

Стопа хорея = 1 длинный слог и 1 короткий = 3 моры.

Стопа дактиля = 1 длинный слог и 2 коротких = 4 моры.

В фонологии термин *мора* применяется к единице, равной слогу или меньшей, чем слог. В просодической морфологии мора используется как «единица измерения» фонологической структуры слова.

Если посмотреть на структуру слога в языках мира, то можно заметить, что наиболее распространены структуры, представленные на рис. 7.2.

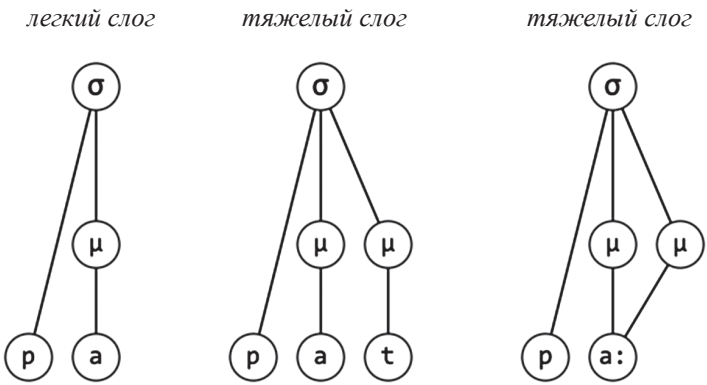


Рис. 7.2. Структура легкого и тяжелых слогов в морах

Слоговая структура влияет на структуру более крупной фонологической единицы – стопы. Исходя из того, как сочетаются легкие и тяжелые слоги, можно говорить о такой характеристике стопы, как

бинарность. Она проявляется в том, что стопа может состоять либо из двух мор, либо из двух легких слогов.

Поскольку в неконкатенативных языках морфемы не имеют постоянного звукового состава, их форму обозначают термином *канонический образец*. Поэтому в морфологической структуре существует специальный уровень, на котором содержится информация о каноническом образце слова. Остановимся на нем более подробно.

Уровень канонического образца называется просодической диаграммой. Существует разновидность просодической диаграммы, описывающая последовательность согласных (C – consonant) и гласных (V – vowel), составляющих морфему – так называемый CV-скелет. Например, в арабском языке в глагольных основах можно выделить корень, состоящий из нескольких согласных, чаще всего трех. Образование различных форм арабского глагола происходит путем заполнения основы по определенному образцу. В результате глагольные формы удобно описывать именно с помощью CV-скелета:

Основа	**ktb (писать)**	**drs (учить)**
perfect active	kataba (он писал)	darasa (он учил)
perfect passive	kutiba (было написано)	durisa (было выучено)
imperfect active	yaktubu (он пишет)	yadrusu (он учит)
imperfect passive	yuktabu (будет написано)	yudrasu (будет выучено)

Для глаголов, основа которых состоит из трех согласных, CV-скелет будет выглядеть как CVCCVC.

Структура слова описывается с помощью просодических диаграмм, задающих единицы более высокого уровня – моры, слоги, метрическую стопу. Как и в автосегментной фонологии, информация, хранящаяся на различных уровнях, связывается при помощи ассоциативных линий. Например, иерархическую структуру приведенных выше глагольных форм в арабском языке можно представить следующим образом (рис. 7.3):

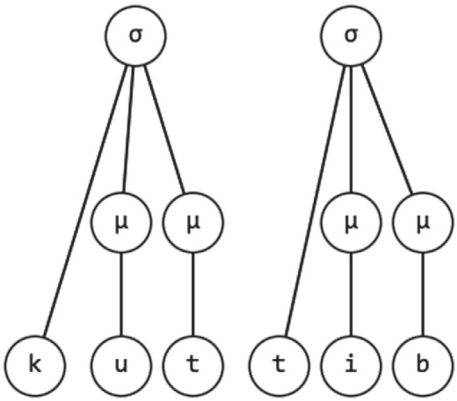


Рис. 7.3. Иерархическая структура глагольной формы в арабском языке

Просодическая морфология объясняет, как в неконкатенативных языках процессы словообразования регулируются просодией: она задает форму отдельных морфем. Например, в австралийском языке дияри активно используется редупликация, при которой повторяющаяся часть слова должна быть двусложной, что равно метрической стопе:

Ед. ч.	Мн. ч.
ngura (дом)	ngura-ngura (дома)
tʲilparku (птица)	tʲipa-tʲilparku (птицы)

Вообще, редупликация как словообразовательная или словоизменительная техника широко распространена в языках мира. Конкретные детали могут различаться, например, редупликация может осуществляться с помощью префикса или суффикса. Независимо от этого повторяющиеся морфемы должны иметь строго определенную просодическую форму, т.е. составлять слог или метрическую стопу.

Просодия может регулировать структуру не только «прибавляемой» морфемы. Ограничения могут касаться итоговой просодической формы производного слова, причем, как правило, ограничения связаны только с просодической формой основы словоформы. Например, в улуа, одном из языков индейцев Никарагуа, притяжательный суффикс 1-го лица *-ki* (аналог русских притяжательных местоимений *мой, моя, мое*) может присоединяться только к основе, которая должна составлять метрическую стопу, равную одному тяжелому или двум легким слогам:

1 метрическая стопа (σ)	**2 и более метрические стопы (σ, σ …)**
amák (пчела)	*amák-ki* (моя пчела)
sú:lu (собака)	*sú:-ki-lu* (моя собака)
karásmak (колено)	*karás-ki-mak* (мое колено)

Если основа исходного слова длиннее одной стопы (как в случае со словом *karásmak*, в котором три слога), суффикс «вклинивается» в середину слова сразу за метрической стопой. Так возникает *инфиксация,* которая традиционно считается особым морфологическим процессом. В просодической морфологии инфиксация трактуется как вариант суффиксации, с той разницей, что ограничения накладываются на просодическую структуру слова. В языках, где используется инфиксация, присоединение суффикса возможно только к основе со строго определенной просодической формой. Это требование объясняет, почему в ряде случаев аффикс оказывается не после корня, а в середине слова.

Просодия может накладывать ограничение не только на основу, но и на итог словообразования или формообразования. Например, ограничение может касаться длины слова в слогах. Хорошо известный случай – образование сравнительной степени прилагательных в английском языке: суффикс *-er* может присоединяться только к ос-

новам с одним или двумя слогами. В результате производное прилагательное может максимально состоять из трех слогов. Если основа прилагательного уже содержит три и более слога, сравнительная и превосходная степени образуются аналитически – при помощи отдельного слова (например, *more intelligent* и *most intelligent* при невозможных **intelligenter* и **intelligentest*).

Более яркий пример регулирования просодической структуры производных слов можно обнаружить в семитских языках, где словообразование осуществляется при помощи изменения состава гласных внутри основы слова. Например, в арабском языке от глагольной основы *ktb* (писать) могут быть образованы следующие формы (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Заполнение основ гласными в арабском языке

CV-скелет	Заполнение основы гласными		Перевод
	a (активный залог)	*ui* (пассивный залог)	
CVCVC	*katab*	*kutib*	писать
CVCCVC	*kattab*	*kuttib*	заставлять писать, диктовать
CVVCVC	*ka:tab*	*ku:tib*	вести переписку, сообщать письменно
tVCVVCVC	*taka:tab*	*tuku:tib*	переписываться друг с другом
inCVVCVC	*inka:tab*	*unku:tib*	записываться

Различные глагольные формы в арабском языке отличаются друг от друга не присутствием новой морфемы, а просодической формой CV-скелета.

Таким образом, просодическая морфология показывает, как просодия (явление фонетического уровня) может оказывать двоякое влияние на процессы словообразования (явление морфологического

уровня): во-первых, во многих языках словообразование и словоизменение основаны не на сегментных, а на просодических структурах. В этих случаях определенные требования накладываются на просодическую форму либо аффиксов, либо основы производного слова. Во-вторых, просодия может влиять на результаты словообразования, когда производное слово целиком должно иметь определенную длину в слогах.

§ 4. Двухуровневая морфология

Исследования, основанные на материале индоевропейских языков, в основном представляют линейные модели морфологических процессов. Другая часть исследований, проведенных на материале языков, не относящихся к индоевропейским, показали, что ряд фонетических явлений не может быть описан с помощью линейных структур. Именно это обстоятельство привело к тому, что целый класс моделей представляет фонологическую и фонетическую информацию не линейно, а в виде уровневых структур. Такие модели мы будем называть нелинейными.

В главе 6, посвященной формальным фонологическим моделям, была рассмотрена двухуровневая фонология – фонологический компонент модели, которая называется *двухуровневая морфология*. Это линейная модель, удобная для описания конкатенативных морфологических техник, широко распространенных в индоевропейских и тюркских языках.

В двухуровневой морфологии морфологические характеристики слова тесно связаны с его фонетическими характеристиками. Напомним, что в этой модели выделяются только два уровня представления языковой информации: поверхностный и глубинный. На поверхностном уровне слова представлены так, как мы их произносим или пишем. На глубинном (лексическом) уровне для записи информации о лексеме используется специальный алфавит символов, который, помимо буквенных символов, может включать допол-

нительные диакритические символы, которые нужны для разметки тех явлений, которые не представлены в виде фонем или графем, но которые несут значимую фонологическую информацию. Например, знаки «+» и «#» используются для обозначения границ морфемы и слова соответственно.

Два уровня связаны между собой возможными соответствиями между символами поверхностной и глубинной структур. В формальной записи соответствие задается формулой:

символ глубинной структуры : *символ поверхностной структуры,*

например, *a* : *a*.

Правила могут ограничивать использование той или иной пары символов в определенном контексте. Важное свойство правил в этой модели заключается в том, что они могут работать в двух направлениях, т.е. распознавать слова либо генерировать их.

В качестве иллюстрации посмотрим на запись правила, определяющего необходимость эпентетической вставки *e* при образовании множественного числа существительных и глаголов 3-го лица ед. числа в Present Simple, основа которых оканчивается на *s, z, x, ch, sh* в английском языке:

+ :e <= s x z [{sc}h] : _ s.

Это правило означает, что на стыке основы и показателя множественного числа -*s* границе основы, которая оканчивается на *s, z, x, ch, sh*, (граница обозначена знаком +), на поверхностном уровне должна соответствовать эпентетическая вставка [*e*]. Фигурные скобки – это способ перечисления возможных вариантов, в нашем случае это *sh* и *ch*. В прямые скобки заключена вся последовательность. По умолчанию, т.е. когда мы не указываем контекст, границе будет соответствовать «ноль», но с указанием контекста мы налагаем ограничение, и границе соответствует *e*. Тогда применение правила будет выглядеть так:

#	f	o	x	+	s	#
|	|	|	|	↓	|	|
0	f	o	x	**e**	s	0

#	w	a	t	c	h	+	s	#
|	|	|	|	|	|	↓	|	|
0	w	a	t	c	h	**e**	s	0

Правило эпентетической вставки в том виде, в котором оно было записано, не охватывает случаи типа *spies*, *shelves* или *potatoes*. Чтобы учесть и эти случаи, нам необходимо расширить правило:

+ : e <=> {s x z [{ s c} h:h] :v [C y:] [C o]} _ s.

В таком виде правило охватывает все контексты, где предусмотрена вставка *e* перед окончаниями. Тем не менее, для случая типа *spies* нам необходимо ввести еще одно правило, а именно, правило замены y на i:

2) y : i => C_{ + : e [+ : e]}
V C+ _ + : C

В этом правиле указаны два контекста, и если хотя бы один из них встречается в слове, правило должно быть применено.

Теперь мы можем применить оба правила одновременно и получить поверхностную форму *spies*:

#	s	p	y	+	s	#
|	|	|	2	1	|	|
0	s	p	i	**e**	s	0

Это правило не будет работать в случае типа *toy – toys*, поскольку контекст не соответствует записи правила, т.е. перед *y* нет согласного, как указано в левом контексте правила.

В двухуровневой морфологии особое значение приобретает понятие «нуля». Дело в том, что параллельное применение правил возможно только при условии того, что каждому символу глубинной формы будет соответствовать символ поверхностной формы. Это означает, что с формальной точки зрения наши цепочки должны быть равной длины. Там, где количество символов не совпадает, вводится «нуль», чтобы уравнять цепочки по длине. Поэтому запись *x : 0* означает удаление символа *x* из поверхностной цепочки, а запись *0 : x* означает, наоборот, вставку символа *x* в поверхностной репрезентации.

Посмотрим, как происходит использование «нуля», на примере английского и тагальского языков (Филиппины). В английском языке правило образования формы множественного числа существительного можно представить следующим образом: +PL : s. Тогда форма множественного числа существительного *dog* будет выглядеть так:

#	d	o	g	+	PL	#
|	|	|	|	|	|	|
0	d	o	g	0	s	0

Но если мы возьмем существительное, у которого форма множественного числа выражается нулем (например, *sheep – sheep*), то правило будет выглядеть так: +PL : 0. Здесь ноль показывает, что на поверхностном уровне показатель множественного числа не имеет формального выражения:

#	s	h	e	e	p	+	PL	#
|	|	|	|	|	|	|	|	|
0	s	h	e	e	p	0	0	0

В тагальском языке действует следующее правило: если на стыке морфем образуется сочетание *nb*, то оно заменяется на *m*, т.е. при присоединении к основе *man* суффикса *bili* мы получаем лексему *mamili*.

В данном случае одновременно происходят ассимиляция и удаление звука. Поэтому нам необходимо использовать два правила: одно – для ассимиляции m : n, а другое – для удаления b, т.е. b : 0. Запишем оба правила:

1. n : m ⇔ __+ : 0 b : @ назальная ассимиляция
2. b : 0 ⇔ @ : m + : 0 ___ удаление

Назальная ассимиляция происходит только в контексте глубинного *b*, которое, в свою очередь, может соответствовать на поверхности либо самому себе, либо «нулю». Удаление *b* происходит только в том случае, если в поверхностной структуре у нас есть *m*, которому в глубинной структуре могут соответствовать либо *m*, либо *n*.

Одновременно эти правила действуют так:

#	m	a	n	+	b	i	l	i	#
|	|	|	|	|	|	|	|	|	|
0	m	a	m	0	0	i	l	i	0

В двухуровневой морфологии особая роль отводится лексикону, который состоит не из готовых словоформ, а из морфем, на базе которых могут образовываться словоформы. В отличие от обычного словаря, здесь слова представлены не как готовые формы, а как сеть морфем, которые могут образовывать различные комбинации.

По сути, лексикон – это база данных, которая содержит корни и грамматические морфемы. Корни – это инициирующие морфемы, которые могут начать процесс словообразования, а грамматические морфемы – это аффиксы, которые присоединяются к инициирующим морфемам в процессе словообразования. Лексикон задает правила, определяющие возможные сочетания морфем (например, корень + суффикс).

Лексикон хранит только абстрактные формы грамматических морфем (например, *Pl* – морфема множественного числа), а переход в реальную форму определяется правилами соответствия, которые в общем виде можно сформулировать так: «В таком-то контексте символ лексикона *X* может быть реализован как поверхностный символ *Y*». Так, в английском языке вариантами реализации этой морфемы могут быть не только *-s,* но и *-Ø, -en*. В результате морфемы объединяются следующим образом (табл. 7.3).

Таблица 7.3

Соответствие глубинных и поверхностных форм

Лексикон (глубинный уровень)			**Правила соответствия**	**Поверхностная форма**
cat	+	*Pl*	*Pl* ↔ *s*	*cats*
chair	+	*Pl*	*Pl* ↔ *s*	*chairs*
sheep	+	*Pl*	*Pl* ↔ Ø	*sheep* (нулевая морфема)
ox	+	*Pl*	*Pl* ↔ *en*	*oxen* (особое правило)

Таким образом, лексикон сам по себе не дает поверхностной формы, а лишь перечисляет возможные комбинации. Процесс словообразования происходит подобно движению по автомату конечного состояния. Для ускорения прохождения лексикон организован в виде дерева, в узлах которого находятся буквы. Эта организация оказывается удобной, поскольку на каждом шаге мы имеем выбор только из тех букв, которые в принципе могут составлять данный морф. Каждая буква соотносится с данными лексикона, и если наблюдается соответствие, то словообразование продолжается по этому пути. Благодаря такой организации лексикон не только определяет возможные сочетания морфем, но и работает в качестве фильтра, который отсеивает негативный материал. Фильтр необходим на этапе соотнесения поверхностной и глубинной форм, чтобы ограничить использование «нуля».

На практике двухуровневая морфология чаще всего применяется для морфологического анализа и генерации словоформ. Морфологический анализ необходим, чтобы проверить, существует ли в данном языке данная словоформа. Существует несколько реализаций этой теории в виде инструментальной среды для описания морфологии без дополнительного программирования PC-KIMMO. Последняя система содержит также библиотеку на языке C для использования построенных морфологических анализаторов в других программах. Подобные библиотеки существуют и для языков ЛИСП и Пролог. В рамках модели KIMMO созданы морфологии японского, арабского, шведского, финского, французского и других языков.

§ 5. Распределенная морфология

Выше мы уже упоминали о возможности моделирования морфологического уровня на основе его связи не только с фонологией, но и с *синтаксисом*. Примером модели, в которой реализуется связь между морфологическим и синтаксическим уровнями, является распределенная морфология (Distributed Morphology). Эта модель была разработана в 1990-е годы в Массачусетском технологическом институте М. Халле, А. Марантцем и их коллегами. Название этой модели связано с тем, что морфологические операции распределены по нескольким уровням грамматической структуры: они не происходят в одном «морфологическом модуле», а взаимодействуют с синтаксисом и фонологией – в этом важное отличие распределенной морфологии от других моделей, где синтаксис, морфология и фонология рассматриваются как отдельные последовательные модули. Если говорить более точно, распределенная морфология отрицает существование отдельного лексикона в нашем мозгу. Вместо этого в синтаксический модуль поступают не готовые слова, а «кирпичики» значения – абстрактные грамматические признаки.

До 1990-х годов морфологические процессы описывали либо как построение словоформы в словаре, после чего на синтаксическом уровне шла работа с готовыми словоформами, либо как построение словоформы после работы синтаксического блока, когда добавлялись аффиксы и окончания.

Распределенная морфология объединила оба эти подхода: слова строятся на синтаксическом уровне, однако морфологические свойства дополняются после синтаксиса, т.е. конкретные формы реализуются на этапе фонологической интерпретации. Цель создания распределенной морфологии – моделирование процесса порождения высказывания, т.е. распределенная морфология – это не чисто морфологическая, а, скорее, более общая генеративная грамматическая модель.

Общую схему работы модели можно представить следующим образом: представьте, что синтаксис – это сборочный конвейер. В традиционных теориях на конвейер поступают готовые словоформы с уже заданной формой и значением (например, *cat – кот, cats – коты*).

В распределенной морфологии на конвейер поступают только абстрактные пучки признаков, которые можно считать «инструкциями» для будущего слова, например: [сущ., ед.ч.] или [сущ., мн.ч.].

Само слово (его звуковая оболочка) появляется только в самом конце процесса, на этапе, который называется «фонологическая форма». Процесс подстановки конкретного звучания под абстрактный пучок признаков и называется *поздней вставкой*. Можно сказать, что синтаксис как бы создает «анкету» для слова: [ЧАСТЬ РЕЧИ: сущ., ЧИСЛО: мн.]. И только потом, в отделе морфологии, мы ищем в «справочнике» (списке фонологических форм), какой именно звуковой отрезок подходит для этой анкеты. Для анкеты [сущ., мн.ч.] в английском мы можем взять [kæt] и добавим к нему фонему *-s*.

Этапы порождения высказывания на различных уровнях в распределенной морфологии представлены в табл. 7.4.

Таблица 7.4

Этапы порождения высказывания

Уровень	Что происходит
Синтаксический	Структура предложения создается из абстрактных морфосинтаксических элементов.
Морфологический	Добавляются аффиксы и происходит необходимое грамматическое согласование словоформ.
Фонологический	Подставляются конкретные морфемы (экспоненты), на которые действуют фонологические правила.

Как видно из таблицы, порождение высказывания начинается в синтаксическом блоке. На первом этапе происходит отбор необходимых морфосинтаксических признаков. На следующем шаге из этих морфосинтаксических признаков формируется иерархическая структура высказывания.

Далее вступает в работу морфологический блок. Существует ряд операций, которым могут подвергаться морфемы: обеднение, объединение, расщепление, поглощение, линеаризация морфем. Смысл этих операций сводится к конкретно-языковым преобразованиям внутри высказывания.

Следующий шаг – подстановка единиц словаря в терминальные узлы, т.е. фонетическое оформление высказывания.

Таким образом, включение распределенной морфологии в группу морфологических моделей в определенной степени условно: из всех имеющихся в модели блоков нас в наибольшей степени будет интересовать работа морфологического блока в процессе порождения высказывания.

Перераспределение функций между блоками привело к тому, что лексикон перестал выполнять те функции, которые отводились ему в генеративной грамматике. Вместо лексикона в распределенной морфологии существует словарь, единицы которого – это информация о фонологических цепочках и о том, куда они могут быть подставлены в высказывании. Общая схема единицы словаря выглядит так:

сигнал (фонологический элемент) ↔ *контекст использования*

Конкретный пример того, как в словаре хранится информация об одном из возможных окончаний множественного числа в русском языке:

/ i / ↔ [__, + plural].

Основные черты модели – поздняя вставка, неполная спецификация и «синтаксическая иерархическая структура до самого конца». Поздняя вставка характеризует процесс подстановки фонетической информации в структуру высказывания: эта информация появляется в самый последний момент, уже после того, как структура высказывания полностью сформирована. Это означает, что информация о звуковом составе языковых единиц хранится отдельно от морфологической и синтаксической.

Неполная спецификация – свойство, которое оказывается следствием поздней вставки. Единицы словаря не содержат информации о грамматических характеристиках элементов высказывания. Более того, информация о контексте вставки может быть общей у нескольких единиц словаря, например:

[dog] ↔ [Root] [+count] [+animate]

[kæt] ↔ [Root] [+count] [+animate]

В данном случае две фонетические оболочки имеют общий контекст вставки: они являются корневыми морфемами, исчисляемыми и одушевленными. В процессе подстановки эти оболочки будут конкурировать между собой. Из двух оболочек в высказывание подставляется та, контекст вставки которой в наибольшей степени совпадает с морфосинтаксическими характеристиками морфемы.

Наконец, третье важное свойство распределенной морфологии – «синтаксическая иерархическая структура до самого конца» – касается взаимоотношений между синтаксическим и морфологическим блоком. Вся структура слова формируется синтаксисом: по сути, то, что мы называем «словом», имеет такую же внутреннюю

иерархию, как и предложение. Именно поэтому морфемы в распределенной морфологии оказываются доступны синтаксическому анализу, как это происходит в элементно-комбинаторных моделях. Именно морфемы являются терминальными узлами синтаксического дерева. Иными словами, морфологическая структура выказывания в распределенной морфологии изоморфна его синтаксической структуре.

Например, слово *unhappiness* строится так:

[NegP *un-* [N *happiness*]]

В свою очередь, существительное happiness порождается следующим способом:

happiness → [Adj *happy* + n *-ness*].

Для деривации любого выражения требуется два структурных описания: морфонологическое и морфосинтаксическое. В морфонологическом описании представлены фонологические элементы, т.е. единицы словаря и их структура.

В морфосинтаксическом описании представлены морфемы, составляющие данное выражение, и их структура. Если структуру высказывания представить в виде дерева, то морфемы окажутся его терминальными узлами. В этих узлах хранится информация о семантических и синтаксических признаках морфемы. Можно сказать, что морфемы являются атомами, из которых создаются морфосинтаксические представления. Например, для словоформы *dogs* морфосинтаксическое описание выглядит как [Root [+ plural]], а морфонологическое – как [dog + z].

В более ранних работах по распределенной морфологии предлагалось выделать два типа морфем: *конкретные* и *абстрактные*. Фонологическая репрезентация конкретных морфем была строго фиксированной, а то время как фонологическая репрезентация абстрактных морфем определялась только после работы синтаксического компонента.

Поскольку фонологическое наполнение морфем любого типа происходит на самом последнем этапе работы формализма, т.е. после синтаксического модуля, от деления морфем на конкретные и абстрактные отказались. Вместо этого теперь выделяют два других типа морфем:

- *f*-морфемы (функциональные морфемы);
- *l*-морфемы (лексические морфемы).

Лексические морфемы – это корни без грамматических категорий. Общая формула l-морфемы – $\sqrt{ROOT}$. Примеры *l*-морфем – $\sqrt{READ}$, $\sqrt{LOVE}$, $\sqrt{RUN}$, $\sqrt{\text{ДОМ}}$, $\sqrt{\text{ПИС}}$. Эти морфемы не имеют категории, т.е. не являются существительным, глаголом или прилагательным, не имеют синтаксических характеристик типа [± *plural*] или [± *past*]. Важно, что *l*-морфемы формируют «содержательную» основу слова, но не определяют его грамматическую категорию.

f-морфемы – это функциональные вершины, которые несут грамматические значения, например, число, время, лицо, падеж, род и т.д. Основная функция *f*-морфем – задавать структуру словоформы и определять ее грамматическую категорию. Например, в словоформе *cats* $\sqrt{CAT}$ – это *l*-морфема, а [Num [+PL] – это *f*-морфема.

Разделение *f*-морфем и *l*-морфем позволяет объяснить, почему одна и та же единица словаря может появиться в составе различных морфологических категорий. Все зависит от того, в каком синтаксическом контексте появляется конкретная *l*-морфема. Например, *l*-морфема $\sqrt{BUILD}$ появляется в качестве существительного *build-(ing)*, если в качестве вершины к ней добавляется *f*-морфема [n] с последующей поздней фонетической реализацией [-ing], и в качестве глагола, если ее вершиной является *f*-морфема [v] с нулевой фонетической реализацией.

Отдельно необходимо остановиться на особенностях организации лексикона в распределенной морфологии. Эти особенности связаны с тем, что вместо одного лексикона, где хранятся целые слова, в РМ есть несколько «хранилищ»:

1. Список синтаксических признаков (так называемый Narrow Lexicon): это наборы абстрактных признаков, которые поступают на вход на синтаксическом уровне.

2. Список морфем (vocabulary), который можно назвать «справочником для поздней вставки». В нем хранятся пары «звуковая оболочка / грамматические признаки». Например, запись для показателя множественного числа существительных в английском языке будет выглядеть как /–s/ ↔ [Num: Pl].

3. Энциклопедический список (The Encyclopedia): здесь хранится не грамматическая, а реальная, культурная семантика корней. Например, здесь хранится знание о том, что [ROOT: $\sqrt{DOG}$] – это домашнее животное, которое лает.

Проследим всю цепочку на примере корневой морфемы $\sqrt{CAT}$.

На синтаксическом уровне на вход подаются пучки признаков. Допустим, нам нужно слово *cats* в позиции подлежащего. Синтаксис строит структуру. Эту структуру можно представить в следующем виде:

$$[\text{nP } [\text{ROOT } \sqrt{CAT}] \text{ [NUM: PL]}]$$

Обратим внимание на то, что на синтаксическом уровне корень $\sqrt{CAT}$ – это еще не слово «*cat*», а абстрактный элемент.

На морфологическом уровне происходят операции, необходимые для образования словоформы. Это может быть объединение соседних узлов, возможное удаление признаков или подбор конкретных форм. Далее структура передается на фонологический уровень, где происходит *поздняя вставка*. Алгоритм обращается к «справочнику» (Vocabulary), в котором ищутся необходимые соответствия:

- для корня $\sqrt{CAT}$ подбирается фонологическая форма [kæt];
- для флексии [Num: PL] выбирается фонологическая форма [-s].

После всех фонологических процессов (например, ассимиляции) мы получаем произносимое слово: [kæts].

Здесь необходимо сделать одно важное замечание. В «справочнике» записи могут быть неполными и соревноваться друг с другом по принципу «Наиболее специфичное правило побеждает». Это означает, что, например, для множественного числа в английском есть общее правило: [-s] ↔ [Num: PL]. Но для слова *child* есть более специфичное правило: [-rən] ↔ [Num: PL], которое работает только для корня $\sqrt{CHILD}$. Оно «побеждает» общее правило, и мы получаем словоформу *children*, а не **childs*.

Сравним такой механизм порождения словоформы в распределенной морфологии с традиционными подходами. Представим, что язык – это «фабрика» по порождению словоформ. При традиционном подходе на фабрике есть «склад» готовых деталей – словоформ (например, *стол, стола, столом* и т.д.). Синтаксический уровень работает как сборочный цех, где словоформы берутся в готовом виде и соединяются.

В распределенной морфологии на «складе» лежат только «идеи» и «чертежи» (абстрактные морфемы). Сборочный цех – синтаксический уровень – сначала собирает из них схему будущего высказывания. И только потом, в «отделочном цехе», т.е. на морфологическом уровне, в соответствии со схемой подбираются подходящие «материалы» (звуки [stol], окончание [-om]), чтобы получить конечный продукт – словоформу «*столом*».

Какими достоинствами обладает распределенная морфология? Во-первых, эта модель описывает и образование словоформ, и образование предложений с помощью одних и тех же синтаксических механизмов. Во-вторых, она хорошо справляется с неоднозначностью слов, супплетивизмами (*go* → *went*), а также случаями, когда одна морфема выражает несколько грамматических значений, что важно для флективных языков. Еще одним важным достоинством распределенной морфологии является возможность анализировать явления на стыке морфологии и синтаксиса (например, клитики или инкорпорацию).

К недостаткам этой модели относят ее сложность и абстрактность – для порождения простых словоформ требуется построение сложных синтаксических структур. Кроме того, спорным остается вопрос, действительно ли наш мозг работает с абстрактными признаками, а не с готовыми словами.

§ 6. Парадигматическая морфология

Парадигматическая морфология была разработана британским лингвистом Дж. Калдером в 1980-х гг. В своей статье *Paradigmatic morphology*, опубликованной в 1989 году, Калдер предложил формальную модель морфологической парадигмы, основанную на идее взаимных правил между словоформами.

С лингвистической точки зрения парадигматическая морфология базируется на понятиях слова и парадигмы и рассматривает именно парадигму, т.е. набор всех словоформ одного слова, как основную единицу морфологического анализа.

Морфологическая информация хранится в виде отношений между членами парадигмы, а не в виде набора морфем. Например, парадигма английского глагола run может выглядеть следующим образом:

Base / Infnintive	*run*
Past Simple	*ran*
Present Participle / Gerund	*running*
Past Participle	*run*

Такое представление позволяет описывать чередования и супплетивизмы. Например, для глагола go парадигма будет выглядеть так:

Base / Infinitive	*go*
Past Simple	*went*
Present Participle / Gerund	*going*
Past Participle	*gone*

Морфологические правила формулируются не как правила комбинаций морфем, а как правила отношения словоформ внутри парадигмы. Вместо правил типа $\boldsymbol{N \rightarrow ROOT + PL}$ (к существительному добавляется морфема-показатель множественного числа) в парадигматической морфологии вводятся правила типа $\boldsymbol{Singular(cat) \leftrightarrow Plural(cats)}$. Такое правило не говорит, что именно добавляется; вместо этого оно указывает соответствие между словоформами.

Формализм построен на том, что слова представлены в виде цепочек, элементам которых приписываются некоторые значения. Например, слово *walks* можно представить в виде цепочки *w+a+l+k+s*, где символ «+» означает конкатенацию. Эту же цепочку мы можем представить в другом виде, а именно, в виде уравнения, используя так называемую *спецификацию цепочки*. Используя спецификацию, мы приписываем некоторое значение фрагменту цепочки:

а) walks = Ws

б) walk.

Чтобы использовать такую запись, нам необходимо иметь два независимых алфавита: один – для составления цепочек, второй – для записи спецификации цепочки. Операция, с помощью которой мы приписываем значения переменным, называется в парадигматической морфологии *унификацией цепочки.* Запись в виде уравнения позволяет описывать орфографические ограничения на морфологические чередования.

В парадигматической морфологии используется также лексикон, состоящий из конечного числа словарных статей. Словарная статья связывает цепочки S с набором грамматических свойств P. Эту связь можно записать как (S : P).

Далее к словарной статье применяются *лексические правила*, общий вид которых в формальной записи – это триединство <Name, IS:IP, OS:OP>. Лексические правила устанавливают соответствия между формой цепочки на входе (IS/ Input String) и ее характеристиками (IP/ Input properties), а также между формой цепоч-

ки на выходе (OP/ Output String) и ее характеристиками (OP/ Output Properties). Иными словами, глубинной форме с ее грамматическими характеристиками сопоставляется поверхностная форма с ее грамматическими характеристиками. В принципе лексическое правило может быть записано в более простой форме:

lexical_rule (*Name*, IP → OP).

Таким образом, изменения грамматических характеристик регулируются с помощью лексического правила. Отношения между цепочкой на входе и цепочкой на выходе определяются наличием парадигм.

Набор парадигм представляет собой собственно морфологический компонент модели. Парадигма в парадигматической морфологии понимается как совокупность четырех компонентов: <Name, σ:φ, [LR_1 … LR_n], [S_1 … S_n] > при n ≥ 1, где Name – это имя парадигмы, которая соотносит цепочки σ и S_i с учетом условия φ посредством лексического правила LR_i.

Для записи парадигмы используется строгий синтаксис: table (Name, String: Properties, LR, S). *Properties* (*свойства*) – это уравнения, с помощью которых записываются символьные цепочки, аббревиатура *LR* обозначает *лексические правила* (*lexical rules*), а *S* – это форма цепочки символов в поверхностной репрезентации (*string form*).

В статье *Paradigmatic Morphology* Дж. Калдер представляет парадигму английского глагола в самом общем виде [Calder 1989]:

table (verb,			Verb: [verb, base, Past = Verb + ed],			
[base	3sg	non3sg	past_participle	past	passive	progressive]
[Verb	Verb+s	Verb	Past	Past	Past	Verb+ ing])

В первой строке таблицы задается ее имя, а также определяется форма прошедшего времени. Вторая строка содержит все лексические правила, которые необходимы для порождения глагольных

словоформ, входящих в парадигму. Третья строка содержит цепочки символов, из которых состоят словоформы.

Теперь применим эту таблицу для записи парадигмы глагола *walk*:

```
table (verb_walk,          walk: [verb, base, Past = walked],
[base  3sg    non3sg  past_participle  past    passive  progressive]
[walk  walks  walk    walked           walked  walked   walking])
```

Что происходит с неправильными глаголами, в основах которых есть чередования? На них действуют все те же лексические правила, однако результирующие цепочки выглядят так, как этого требует система языка. Посмотрим, как меняется эта таблица, на примере глагола *bring*:

```
table (verb_bring,         bring: [verb, base, Past = brought],
[base  3sg    non3sg  past_participle  past    passive  progressive]
[bring brings bring   brought          brought brought  bringing])
```

Выделяют два типа парадигм: основные и вспомогательные. Основные парадигмы описывают формы с окончаниями полностью, они задают единый каркас и минимизируют дублирование. Вспомогательные парадигмы содержат информацию, которая отражает специфические морфологические отношения, т.е. исключения. Например, для глагола *see* вспомогательная парадигма представлена в первой строке таблицы:

```
table (verb_ see,          see: [verb, base, Past = saw, PPart = seen],
[base  3sg    non3sg  past_participle  past    passive  progressive]
[see   sees   see     seen             saw     seen     seeing])
```

Можно говорить о том, что основные парадигмы содержат информацию о морфологических отношениях в общих случаях, в то время как вспомогательные парадигмы отвечают за порождение специфических морфологических форм. Благодаря механизму наследования и блокировки вспомогательные парадигмы «побеждают» в тех случаях, когда в парадигме есть нестандартные словоформы.

Модель парадигматической морфологии по своей сути является не процедурной, а декларативной. Она хорошо работает не только при описании языков, где словоформы образуются путем аффиксации, но и для языков с неконкатенативной морфологией. Однако ее критикуют за то, что ее сложно применять к языкам с множеством морфонологических чередований и исключений.

§ 7. Парадигматическая функциональная морфология

Парадигматическая функциональная морфология (ПФМ) – это одна из наиболее влиятельных парадигматических теорий словоизменения, предложенная Д. Стампом в 2001 году и модифицированная в 2016 году. Она отвечает на вопрос, как из леммы и набора граммем получить конкретную словоформу, не разбирая слово на морфемы заранее.

В данной модели под парадигмой понимается множество ячеек для всех релевантных комбинаций признаков (например, {Case×Number} для русского существительного). Парадигматическая функциональная морфология рассматривает морфологию как *функцию парадигмы*: для лексемы *L* и грамматического набора признаков *σ* существует функция PF**,** которая отображает реализацию (форму или формы) этой ячейки:

$$PF_L(\sigma) \rightarrow форм(а) PF_L(\sigma) \rightarrow форм(а)$$

Данная запись означает, что необходимо не «складывать» морфемы, а **применять *правила*** *реализации* к лемме или основе, чтобы получить нужную форму.

В данной записи PF – это парадигматическая функция, которая представляет собой отображение ⟨L, σ⟩ → ⟨L, σ⟩ → строка(и). Символ L обозначает абстрактный словарный элемент (например, *LOVE* или *ОКНО*). Символом σ обозначается набор признаков (граммем), например, {Past}, {Gen,Pl}.

Для получения словоформы с набором грамматических признаков σ из базы (т.е. леммы или основы) используются *правила реализации* **(Realization Rules, RR)**. Эти правила не «склеивают» словоформу, а выводят ее из уже имеющейся основы.

В общем виде правило выглядит следующим образом:

$$RRn\ ⟨\text{контекст } \sigma⟩ : X \rightarrow f(X).$$

В данной записи ⟨контекст σ⟩ указывает условия применения правила, которые включают в себя набор признаков σ и лексемный контекст. В левой части правила X – это основа будущей словоформы. В правой части правила функция f «активирует» правила для заполнения конкретных ячеек парадигмы.

К наиболее распространенным функциям относится аффиксация, которая добавляет к основе X фонологический материал (префиксы, суффиксы, циркумфиксы), чередование гласных в основе (например, в английских глаголах типа sing → sang), образование супплетивных форм, нулевое морфологическое маркирование грамматического значения.

В ПФМ правила объединены в блоки. Такое решение вызвано тем, что в языках часто существует конкуренция и взаимоисключение аффиксов. Конкуренция проявляется в том, что несколько аффиксов способны выражать одно и то же грамматическое значение: например, в русском языке существует несколько суффиксов для образования уменьшительно-ласкательных форм (-ок в *голосок*, -ик в *домик*, -ечк- в *чашечка* и др.). Взаимоисключение аффиксов – это невозможность выражения одних и тех же грамматических значений в одной и той же словоформе. Чтобы решить проблему с конкуренцией и взаимоисключением, правила организуются в блоки – упо-

рядоченные списки морфологических правил, которые, во-первых, выражают значения из одной функциональной области (например, время, вид, число, падеж), и, во-вторых, находятся в отношении дополнительной дистрибуции или строгого порядка. Это означает, что из одного блока для одной словоформы может быть применено только одно правило (или ни одного). Блоки правил можно сравнить с «меню выбора» для заполнения определенной ячейки в парадигме.

Внутри каждого блока правил существует приоритет по специфичности: сначала идут более специфичные (частные) правила, затем – более общие. Например, для английского глагола приоритет по специфичности в упрощенном виде может выглядеть так:

Блок B1: Past Tense

1. Past (go) = went (супплетивизм – самое специфичное правило)
2. Past (sing) = sang (чередование гласного i → a в неправильных глаголах встречается чаще, чем супплетивные формы)
3. Past (work) = work+ed (регулярный способ образования форм прошедшего времени – это самое общее правило, поэтому оно идет последним).

Применяя эту иерархию, алгоритм построит форму *went* для глагола *go*, для глагола *sing* он пропустит первое правило и применит второе для построения формы *sang*, а для всех правильных глаголов пропустит и первое, и второе правило, чтобы создать форму прошедшего времени с помощью системного окончания *-ed*. Благодаря этой иерархии глаголы с нерегулярными формами «перебивают» регулярное правило в том же блоке, а затем проходят общие доработки в следующих блоках.

Рассмотрим пример построения парадигмы с использованием нескольких блоков правил. Допустим, нам необходимо построить формы русского глагола *делать* в прошедшем времени: у нас есть основа инфинитива *дела-*, и требуется получить формы *дела-л* (м.р.), *дела-ла* (ж.р.), *дела-ло* (ср.р.), *дела-ли* (мн.ч.).

На первом шаге необходимо определить грамматические признаки и их иерархию. Она будет выглядеть так: время – число – род (для форм единственного числа).

На втором шаге создаются блоки правил.

Блок А: ВРЕМЯ

A1. Past_Tense (X) = [X] + суффикс прошедшего времени

Блок В: ДОБАВЛЕНИЕ СУФФИКСА ПРОШЕДШЕГО ВРЕМЕНИ

B1: Past_Suffix (дела-) = дела-л

Это правило готовит основу, которая далее может принять окончания, показывающие род и число словоформы.

Блок С: ЧИСЛО И РОД

Этот блок правил применяется к основе – результату работы блока В.

C1. Masc_Sg(X-л) = X-л + Ø (м.р., ед. ч. – нулевое окончание)

C2. Fem_Sg(X-л) = X-л + -а (ж.р., ед. ч.)

C3. Neut_Sg(X-л) = X-л + -о (ср. р., ед. ч.)

C4. Plural(X-л) = X-л + -и (мн. ч.)

На следующем шаге блоки правил применяются последовательно. Предположим, что нам необходимо получить словоформу *делала*. Первым применяется правило блока А, которое «активирует» основу прошедшего времени *дела-*. Далее вступает в работу правило блока В: оно готовит основу *дела-л*. Эта основа далее подвергается действию правила С2, которое создает нужную словоформу *дела-ла*.

В парадигматической функциональной морфологии важными понятиями являются *синкретизм, дефектность (дефектная парадигма)* и *депоненция*.

Синкретизм – это ситуация, когда одна и та же словоформа может выражать два и более различных грамматических значений в пределах одной парадигмы. Например, русская словоформа *стол* может выражать два набора грамматических значений: им.п. ед.ч. и вин.п. ед.ч. Нулевое окончание для двух падежных форм создает грамматическую омонимию, которая не является уникальной осо-

бенностью только слова *стол*: она системна для словоформ неодушевленных существительных мужского рода в ед.ч. В ПФМ синкретизм описывается как единая парадигматическая функция, аргументом которой является множество грамматических признаков. Вместо двух отдельных функций

F_Nom (Sg, Masc, стол-) = стол-Ø

F_Acc (Sg, Masc, стол-) = стол-Ø

в Парадигматической функциональной морфологии существует одна обобщенная функция для двух ячеек парадигмы:

F_{Nom/Acc} (Sg, Masc, стол-) = стол-Ø.

В ПФМ синкретизм обрабатывается с помощью правил, которые перенаправляют алгоритм создания словоформы (rules of referral). Такие правила не генерируют формы напрямую, а отсылают к форме, уже сгенерированной для другой ячейки парадигмы.

Благодаря такому подходу модель становится более экономной: не нужно вводить отдельные правила для генерации одной и той же словоформы. Вместо этого создается одно основное правило, а для омонимичных словоформ делаются отсылки к нему.

Термином *дефектность / дефектная парадигма* обозначаются случаи, когда в парадигме нет допустимой словоформы. В таких случаях PF_L(σ) не определена, т.е. функция PF не возвращает форму для некоторых σ, и ячейка в парадигме остается пустой. От нулевой экспоненции, когда грамматическое значение не выражается морфологически (Ø), дефектность отличается тем, что в первом случае ячейка парадигмы заполняется (например, стол-Ø), а вот при дефектности формы нет вообще (например, у глаголов *победить* и *очутиться* нет формы 1 л. ед.ч. буд. вр., а у глагола *сбываться* нет форм 1 и 2 л. в наст. вр.). Чтобы алгоритм не порождал несуществующие словоформы, вводятся так называемые правила обхода (avoidance rules). Эти правила не создают словоформу, а блокируют ее создание.

Правила обхода самые конкретные, и каждое такое правило всегда привязано к одному слову. В иерархии они занимают верх-

ние позиции и блокируют действие более продуктивных правил, не давая им порождать несуществующие словоформы.

Депоненция (deponency) – это явление, при котором слово в одной грамматической форме имеет морфологическое выражение, характерное для другой формы, но при этом его синтаксическое поведение остается исходным. Проще говоря, словоформа выглядит так, как будто она имеет один набор грамматических признаков (например, пассивный залог), но ведет себя в предложении как слово с совершенно другим набором признаков (например, активный залог). Классическим примером является латинский язык: глагол *loquor* имеет следующие формы: *loquor* (я говорю) – форма выглядит как пассив 1-го лица, *loqueris* (ты говоришь) – форма выглядит как пассив 2-го лица, *loquitur* (он / она говорит) – форма выглядит как пассив 1-го лица. При этом значение и синтаксическое поведение глагола соответствует не пассивному, а активному залогу: он управляет прямым дополнением в винительном падеже, как и любой другой глагол в активном залоге. Получается, что глагол как бы «одалживает» морфологическую парадигму у пассива, при этом выражая значение активного залога.

Чтобы экономно описать такие случаи, в ПФМ используются те же правила, которые перенаправляют алгоритм создания словоформы (rules of referral), только в случае депоненции эти правила работают не внутри одной парадигмы, а «перекрестно» – между разными парадигмами или грамматическими категориями. Общий вид такого правила – «чтобы выразить набор признаков X, используй морфологическую форму, которая обычно выражает набор признаков Y».

Посмотрим, как работают такие правила на примере двух латинских глаголов: *amare* (любить) и *loqui* (говорить).

В активном залоге формы глагола *amare* в 1 и 2 лице единственного числа выглядят так:

1 л. ед.ч.	*am-o*
2 л. ед.ч.	*am-as*

В пассивном залоге формы глагола *amare* в 1 и 2 лице единственного числа выглядят по-другому:

1 л. ед.ч. *am-or*

2 л. ед.ч. *am-aris*

Глагол loqui и в активном, и в пассивном залоге имеет одинаковые формы:

1 л. ед.ч. *loqu-or*

2 л. ед.ч. *loqu-eris*

Для описания этой ситуации необходимо правило «для лексемы *loqui* с признаками [Voice: Active] использовать морфологическую форму, соответствующую признакам [Voice: Passive]»:

B_1: RR ⟨Voice=ACT, class=Deponent, ϕ⟩ :

PF (L, {ACT, ϕ}) := PF (L, {PASS, ϕ})

В данной записи символ *ϕ означает остальные признаки (время, лицо, число и т.д.)*.

Далее последовательность работы алгоритма такова: синтаксис генерирует запрос на форму с признаками: [Word: LOQUI, Voice: Active, Pers: 1st, Num: sing., Tense: Pres.]. Морфологический компонент получает этот запрос и находит самое конкретное правило. На следующем шаге срабатывает правило-объединитель для *loqui*: «не применяй общие правила для активного залога. Вместо этого, возьми набор признаков [Voice: Passive, Pers: 1st, Num: sing., Tense: Pres.] и передай его дальше на морфологическую обработку».

На следующем шаге система обрабатывает «подмененный» набор признаков [Залог: Пассив, Лицо: 1, Число: ед., Время: Наст.].

На последнем этапе к этому новому набору признаков применяются обычные, продуктивные правила для образования форм пассивного залога, которые и выдают форму loqu-or.

В результате синтаксис получает форму loquor для активного залога. Морфологически она выглядит как пассив, но синтаксис «думает», что имеет дело с активным залогом, и ведет себя соответствующим образом.

Подход, предложенный в модели ПФМ, обладает рядом достоинств: эта модель предлагает единый механизм для фузионных и агглютинативных языков. В этой модели также предложен элегантный механизм кодирования исключений: более специфичное правило всегда «побеждает» более общее, системное правило. Однако при таком подходе для зон с большим количеством исключений приходится создавать богатые наборы частных правил, что, впрочем, отражает реальную ситуацию в языке.

§ 8. Сетевая морфология

Сетевая морфология (Network Morphology) – это теория морфологической организации языка, в которой информация о морфологических свойствах языковых единиц хранится не в виде списков правил, а в виде сети взаимосвязанных узлов. Это декларативный способ представления морфологии, в котором для описания и моделирования словообразования и словоизменения используется теория графов. Морфологическая система рассматривается как сложная сеть, которая описывает:

- лексемы (слова как абстрактные единицы),
- морфологические категории (например, число, род, падеж, время),
- парадигматические связи между формами.

Связи между узлами (ребра графа) отражают отношения между этими элементами (узлами графа). Это может быть связь между словоформой и ее грамматическими признаками, связь между разными словоформами в рамках парадигмы одного слова или связь между морфемами, участвующими в образовании слова.

Сетевая морфология была разработана для описания морфологического уровня агглютинативных и флективных языков, в которых значительная часть информации выражается с помощью окончаний. В частности, разработка данной модели была начата на

материале русского и ряда других славянских языков (болгарского, польского, чешского). Эти языки также сопоставлялись с языками полисинтетического типа (язык эскимосов *юпик* и язык австралийских аборигенов *майали*). Существуют приложения сетевой морфологии к финскому, грузинскому, латинскому, итальянскому языкам, глагольной системе иврита.

Основная идея сетевой морфологии состоит в том, что морфологический уровень языка представляет собой *иерархически организованную сеть*. Информация о словоизменении представлена в сети декларативным способом, что позволяет отказаться от процедуры применения правил.

Процесс образования новых слов или словоформ осуществляется следующим образом: лексические основы поставляются на вход в сеть, в которой иерархически упорядочена морфологическая информация. Проходя по сети, лексическая основа приобретает аффиксы и флексию заданной части речи. Основной принцип можно сформулировать следующим образом: «то, что общее, задается один раз наверху, то, что нестандартно – уточняется локально в нужной ветке сети».

Рассмотрим этот способ моделирования морфологии на примере формализма DATR (произносится как dater), разработанного Р. Эвансом и Дж. Газдаром в 1989 году. В этой модели узел графа может содержать информацию о словоформе, о лексеме или о целом классе лексем. Основные типы узлов представлены в табл. 7.5.

Таблица 7.5

Основные типы узлов в Сетевой морфологии

Узел	Что представляет
Лексема	абстрактная словарная единица (например, *стол*)
Парадигматическая форма	конкретное сочетание категорий (*столам*, *столами*)
Категориальные узлы	категории, такие как падеж, число, род, вид
Правила и ограничения	задают наследование признаков и форм

В такой сети узлы содержат информацию различной степени обобщенности: например, можно задать узел, в котором содержится информация о слове вообще, узел для переходных глаголов, узел для конкретной лексемы (*love)* и узлы для ее словоформ (*love, loves, loving, loved*). Каждый узлом описывается парой *path / value (путь / значение)*. Путь – это последовательность грамматических характеристик (атрибутов), а значение – это конкретные признаки лексемы или словоформы. Например, причастие настоящего времени английского глагола *love* может быть описано следующим образом:

Path (путь)	*Value (значение)*
Syntactic category	verb
syntactic type	main
syntactic form	present participle
Morphological form	*love+ing*

В столбце *Path* указаны грамматические характеристики, которые различают синтаксическую и морфологическую информацию о словоформе. Конкретные значения, которые принимают эти характеристики в случае со словоформой *loving*, являются собственно лингвистической информацией о словоформе. Таким образом, синтаксическая категория данной словоформы – глагол, синтаксический тип – «смысловой» (в отличие от вспомогательного), синтаксическая форма – причастие настоящего времени, а морфологическая форма – *love_ing* (на данном этапе орфографические особенности полученных словоформ не учитываются). В модели DATR такая информация может быть записана еще одним способом:

```
Word 1:
<syn cat>      = verb
<syn type>     = main
<syn form>     = present participle
<mor form>     = love_ing
```

В данной записи знаком «:» обозначается обращение к узлу или атрибуту, знак «=» используется для простого приписывания значений признака. В левой части уравнений с помощью угловых скобок указан путь движения лексической основы по сети. Обратим внимание на то, что значения, которые принимают атрибуты, могут состоять из одного элемента, как в первых двух строках записи, либо иметь более сложную структуру и состоять из нескольких элементов, как в третьей и четвертой строках.

Такой способ записи используется для описания конкретных словоформ; по сути, это просто список соответствий путей и значений. Если бы нам пришлось описывать словоформу *loved*, то, следуя примеру с *loving*, нам пришлось бы написать так:

Word 2:
<syn cat> = verb
<syn type> = main
<syn form> = past participle
<mor form> = love_ed

Достоинство такого способа организации информации состоит в том, что это описание предоставляет нам всю грамматическую и морфологическую информацию о словоформе. Однако у этого способа есть и недостаток: такая запись каждой словоформы не соответствует основной цели формального описания языка, которая заключается в максимальном обобщении при описании свойств языковых элементов. Следовательно, необходимо избегать многократного повторения информации, которая является общей для многих словоформ. Именно для этого вводится понятие *сети с наследованием*.

В соответствии с принципом наследования, элементы подкласса наследуют все характеристики класса в целом. Механизм наследования состоит в том, что в систему описания вводятся новые узлы и так называемые *дескрипторы*. Дескрипторы содержат грамматическую и морфологическую информацию, общую для нескольких сло-

воформ. Эта информация может быть сосредоточена в отдельном узле, например:

VERB:
<syn cat> == verb
<syn type> == main

В этой записи двойной знак равенства «= =» указывает на то, что значение не просто приписывается, а наследуется. Например, мы можем задать узел

Verb_Regular:
past == stem + “ed”.

Все узлы глагольных словоформ более низкого уровня, например, love, play, want по умолчанию унаследуют это правило, а неправильные глаголы сами переопределят атрибут past.

Вернемся к описанию словоформ *loved* и *loving*. Учитывая информацию, хранящуюся в узле VERB, можно переписать эти узлы следующим образом:

Word 1:
<syn cat> == VERB:<syn cat>
<syn type> == VERB:<syn type>
<syn form> == present participle
<mor form> == love_ing
Word 2:
<syn cat> == VERB:<syn cat>
<syn type> == VERB:<syn type>
<syn form> == past participle
<mor form> == love_ed

В правой части всех уравнений <syn cat> и <syn type> являются уже не значениями, а дескрипторами наследования. Благодаря использованию таких дескрипторов, мы легко указываем на существование нового узла и на путь к нему. Значение, которое связано с <syn cat> в описании Word 1, аналогично значению <syn cat> в узле

VERB. Поскольку выражение <syn cat> встречается и в левой, и в правой части нашего описания, то для упрощения записи оно может быть опущено. Вместо этого мы можем просто записать VERB. Такие же упрощения в записи возможны в тех случаях, когда содержится отсылка к информации из того же узла, хотя правые и левые части записи могут не совпадать. Рассмотрим такой пример:

Come:
<mor root> == come
<mor past participle> == Come: <mor root>

В данном случае можно опустить отсылку к имени узла, поскольку мы не выходим за его пределы. Тогда запись будет выглядеть следующим образом:

Come:
<mor root> == come
<mor past participle> == <mor root>

Как именно работает механизм наследования в сети? В модели DATR выделяют два типа наследования: *локальное* и *глобальное*. Локальное наследование является наиболее простым типом. Локальным этот тип наследования называют потому, что наследование может осуществляться от конкретного узла (или пути), на который есть ссылка в описании. Эти конкретные узлы и пути составляют так называемый локальный контекст. Локальное наследование может производиться тремя способами: либо от нового узла, либо по новому пути, либо от нового узла по новому пути одновременно. Посмотрим, как сочетаются эти три способа в дефиниции лексемы *come*:

Come:
< > == VERB
<mor root> == come
<mor past> == came
<mor past participle> == <mor root>
<syn> == INTRANSITIVE: < >

В этом примере пустые скобки вместо указания пути означают, что путь наследуется от узла VERB, и лексема COME наследует все свойства этого узла. Второй этап наследования – морфологическая форма причастия прошедшего времени наследует свои свойства от морфологической формы корня этого же узла. Последняя строка записи демонстрирует нам третий способ наследования, в котором определены и узел, и путь наследования. Синтаксические свойства лексемы наследуются от непереходных глаголов, поскольку в записи есть ссылка на узел INTRANSITIVE.

Второй тип наследования, который существует в формализме DATR – это глобальное наследование. Для этого типа наследования необходим более широкий глобальный контекст. Так же, как и локальное наследование, глобальное наследование может осуществляться от узла, от пути, либо от того и другого сразу. Можно сказать, что глобальное наследование – это наследование более высокого уровня, чем локальное, поскольку глобальное наследование изменяет локальный контекст, но не наоборот. Для указания на глобальный тип наследования вводятся специальные дескрипторы, заключенные в кавычки. Приведем пример записи глобального наследования:

VERB: <mor present> == “<mor root>”

В данной записи содержится информация о том, что по умолчанию морфологическая форма глаголов настоящего времени должна определяться, исходя из пути для корневой морфемы.

Сетевая модель удобна для описания языков с хорошо развитой системой окончаний. Например, формализм DATR применяют для описания именного словоизменения в русском языке. Для русского языка запись информации о словоформах существительного может выглядеть следующим образом:

```
noun :=
  gender: masculine,
  number: singular,
```

```
  stem: stol,
  nom: <stem>,
  gen: <stem> + ‘a’,
  dat: <stem> + ‘u’

plural :=
  number: plural,
  nom: <stem> + ‘y’,
  gen: <stem> + ‘ov’

stol : = noun & plural .
```

В данной записи узел noun задает базовые свойства существительных, узел plural – свойства множественного числа. Основа stol наследует (&) и то, и другое. Таким образом, в сети отдельные формы «унаследованы» от более общих узлов.

Следующий пример иллюстрирует образование словоформ существительного *рука* **в русском языке**:

```
noun : =
  stem: “рук”,
  nom.sg: <stem>,
  gen.sg: <stem> + ‘и’,
  dat.sg: <stem> + ‘е’,
  acc.sg: <stem> + ‘у’,
  instr.sg: <stem> + ‘ой’,
  prep.sg: <stem> + ‘е’,
  nom.pl: <stem> + ‘и’,
  gen.pl: <stem> + ‘  ‘,
  dat.pl: <stem> + ‘ам’,
  acc.pl: <stem> + ‘и’,
  instr.pl: <stem> + ‘ами’,
  prep.pl: <stem> + ‘ах’
ruk : = noun & {stem: ‘ruk’}.
```

Данная запись показывает, что все падежные формы вычисляются автоматически, потому что *ruk* наследует структуру *noun*, подставляя собственный корень *ruk*.

Итак, одним из основных принципов является наследование – формы и категории наследуют свойств от более общих узлов. Благодаря этому одно и то же свойство может быть задано для целого класса слов, а отдельные лексемы наследуют его без дублирования. Но что происходит, если в парадигме имеется нерегулярная словоформа? Здесь вступает в действие механизм переопределения: если у дочернего узла есть собственное значение признака, оно заменяет унаследованное. Рассмотрим пример с русскими существительными. В русском языке нет единого склонения: помимо 1-го, 2-го и 3-го склонений выделяются разносклоняемые существительные и т.д. Как их все описать? Классический подход заключается в том, что слово включается в одну из множества парадигм. Если мы используем сетевой подход, слово не приписывается к определенной парадигме. Вместо этого указываются узлы, к которым слово должно «подключаться» в каждой конкретной ячейке парадигмы.

Важной чертой сетевой морфологии вообще и формализма DATR в частности является то, что по своей сути эта модель является декларативной, а не процедурной. Поэтому в ней нет этапа оценки нарушения принципов после генерации словоформы (т.е. фильтра). В сетевой морфологии узел оценивается по его связям и месту в сети. Чем больше узлов в линии связи между определенным конечным узлом и вершиной иерархии, тем более маркированным является этот узел.

Какими преимуществами обладает сетевая морфология? Во-первых, это естественность: психолингвистические исследования показывают, что мы действительно храним словоформы и активируем связи между ними, а не вычисляем формы «с нуля» каждый раз. Во-вторых, это гибкость: благодаря механизму наследования сетевая морфология легко описывает слова со «смешанным» словоизменением, супплетивизмы и другие морфологические явления,

которые традиционно принято относить к аномалиям. Еще одно важное свойство – мощность прогнозирования: сеть позволяет моделировать, как говорящие по аналогии создают новые формы или как осваиваются заимствованные слова. Слово «подключается» к сети в той точке, которая кажется говорящему наиболее похожей. Наконец, это возможность учитывать частотность и «вес» связей. Частотные связи будут иметь больший вес и активироваться быстрее.

Критика сетевой морфологии связана с ее избыточностью, поскольку хранение всех словоформ избыточно для слов, которые образуются регулярными способами. Еще одна проблема – вычислительная сложность теории: реализовать полноценную сетевую модель для всего языка – это очень сложная вычислительная задача. Наконец, не до конца ясен «механизм» выбора: как именно говорящий выбирает нужную связь из множества возможных?

Сетевая морфология – важный этап в формальном моделировании морфологии: от представления этого уровня языка в виде таблиц с парадигмами или правил лингвисты перешли к моделированию процессов словообразования и словоизменения в виде сети узлов и связей между ними.

Считается, что сетевая морфология представляет процессы словообразования и словоизменения гораздо ближе к тому, как, по современным представлениям, может быть устроен наш языковой модуль в мозге. Она позволяет описать морфологию не как свод жестких правил, а как динамическую, гибкую и живую систему, способную к самоорганизации и расширению по аналогии.

Контрольные вопросы

1. В чем ключевые различия между IA-, IP- и WP-моделями морфологии? Укажите базовую единицу анализа и тип языка, для который они наиболее эффективны.

2. Почему ранние генеративные модели недооценивали морфологию, и как лексикалистская гипотеза изменила место морфологии в грамматике?

3. Объясните на одном примере (напр. рук-а → руч-к-а), как IA-модель и IP-модель по-разному представляют одну и ту же деривацию.

4. Что такое просодическая морфология? Для чего в ней используются уровни мора – слог – стопа – просодическое слово и как это помогает описывать неконкатенативные процессы?

5. Покажите, как просодические ограничения объясняют редупликацию или инфиксацию. Что именно ограничивается: аффикс, основа или итоговая словоформа?

6. Что такое CV-скелет и как по нему описываются глагольные шаблоны в арабском языке?

7. В чем суть двухуровневой морфологии и зачем нужны соответствия вида x:0 / 0:x?

8. Приведите пример, где ноль в двухуровневой морфологии обозначает удаление сегмента, и пример, где он обозначает нулевую экспоненцию грамматического значения.

9. Как распределенная морфология «распределяет» работу между синтаксисом, морфологией и фонологией? Дайте определения поздней вставки и неполной спецификации.

10. Чем отличаются l-морфемы и f-морфемы в распределенной морфологии? Проиллюстрируйте на примере словоформы cats, какие узлы вставляются и в каком порядке?

11. Объясните принцип конкуренции словарных единиц («наиболее специфичное правило побеждает») на примере *child → children* против общего правила [-s] ↔ [Num: PL].

12. Что представляют собой парадигмы в парадигматической морфологии? Что такое таблицы, лексические правила и спецификация цепочки?

13. Для чего в парадигматической морфологии нужны основные и вспомогательные парадигмы? Как вспомогательная парадигма «перебивает» основную при нерегулярностях?

14. В чем заключается основная идея парадигматической функциональной морфологии? Что такое парадигматическая функция PF_L(σ) и правила реализации (RR), для чего они группируются в блоки?

15. Как в PFM трактуются синкретизм, дефективность и депоненция? Приведите по одному примеру и укажите, каким типом правил кодируются эти явления.

16. В чем состоит основная идея сетевой морфологии? Какой формализм используется для представления знаний в этой модели и что понимается под узлами и путями?

17. Какие два основных типа наследования используются в формализме DATR? Как механизм наследования позволяет избежать избыточности в описании?

18. Каковы основные преимущества и недостатки сетевой морфологии по сравнению с процедурными моделями? Почему ее считают более соответствующей психолингвистическим представлениям об организации ментального лексикона?

Практические задания

1. Возьмите русскую пару с морфонологическим чередованием (напр., *друг → друзья, книга → книжка*). Покажите, как это опишут IA и IP модели. Кратко сравните сильные / слабые стороны этих типов моделей.

2. Объясните, как в WP-модели слово представляется в виде набора словоформ, и почему WP хорошо описывает нерегулярности.

3. Постройте полную таблицу для глагола *talk* по образцу из главы и объясните, как «включается» словоформа *talked* сразу в трех клетках (past, past_participle, passive).

4. Модифицируйте таблицу для глагола make → made. Поясните, почему правила те же, но результат иной.

5. Для глагола *see* выделите вспомогательную парадигму, которая «перебивает» регулярную форму, и опишите механизм блокировки/наследования.

6. Нулевая экспоненция в двухуровневой модели: покажите, как представить *deer* → *deer* с + PL:0 и почему обязательна вставка нулей.

7. На примере словоформы *chairs* покажите, что является l-морфемой, что – f-морфемой, и почему поздняя вставка срабатывает в самом конце.

8. Распределенная морфология: одна l-морфема – разные категории. Возьмите корень типа *build-* и покажите, как в разных синтаксических контекстах он дает *build-(v)* vs. *build-ing (n)* (вершины [v]/[n], поздняя вставка).

9. Возьмите одно языковое явление (например, англ. нерегулярный Past / Past Participle) и опишите его в трех моделях: парадигматической морфологии, двухуровневой морфологии (правила соответствий), парадигматической функциональной морфологии (RR-блоки). Кратко сравните трудоемкость описания.

10. Разберите словоформы *перечитывание* и *играя* как линейную последовательность морфем в терминах элементно-комбинаторной модели. Изобразите их морфемную структуру в виде дерева.

11. Опишите образование слова *голубок* от слова *голубь* в рамках IP-модели. Укажите исходную основу, операцию (добавление суффикса) и морфонологическое правило, объясняющее чередование [п] / [б’].

12. Даны слова *слоненок* и *поросята*. Покажите, как их образование объясняется в IA-модели (как комбинация морфем) и в WP-модели (как элементы парадигмы, связанные по аналогии). Какой подход удобнее для каждого случая?

13. Составьте парадигму для прилагательного *хороший* (включите формы *хорош, хорошая, лучше*). Объясните, почему связь между *хороший* и *лучше* удобнее описывать в WP-модели, чем в IA или IP.

14. В английском языке суффикс сравнительной степени *-er*- присоединяется только к односложным или двусложным основам на -y, -ow и др. (*green* → *greener*, *happy* → *happier*, но *beautiful* → *more beautiful*). Сформулируйте это ограничение в терминах просодической морфологии (например, ограничение на длину основы в слогах).

15. Даны абстрактные грамматические признаки: [√ЧИТА, Время: Прош, Число: Ед, Род: Жен]. Подберите к ним фонологические экспоненты из «справочника» русского языка. Какая словоформа получится в результате?

16. В английском языке есть общее правило для прошедшего времени (V + -ed) и специфическое для глагола sing (sing → sang). Объясните, по какому принципу в распределенной морфологии будет выбрана форма sang, а не *singed.

17. Как в распределенной морфологии объясняется супплетивизм в парадигме местоимения *я* → *меня, мне*? Предложите, как могут выглядеть записи в «справочнике» (vocabulary) для этих форм.

18. Используя логику DATR, напишите фрагмент описания для узла RUS_NOUN, который бы задавал, что по умолчанию форма именительного падежа единственного числа равна основе.

19. Создайте узел для русского слова *ребенок*. Укажите, что он наследует свойства от RUS_NOUN, но переопределяет форму родительного падежа множественного числа на детей (<gen pl> == детей).

20. Дана небольшая сеть: узел ГЛАГОЛ имеет путь <past> == <stem> + «л». Узел ИДТИ наследует от ГЛАГОЛ, но имеет путь <past> == шел. Какая форма будет получена при запросе к узлу ИДТИ по пути <past>? Объясните принцип наследования и переопределения.

Глава 8

ФОРМАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНТАКСИСА ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

В этой главе мы рассмотрим основные формальные модели синтаксического уровня языка. В самом общем виде синтаксическая модель – это формализованная система правил, которая описывает структуру предложения и правила сочетаемости слов в данном языке. Синтаксическая модель должна уметь отвечать на несколько важных вопросов: как человек из конечного набора слов может порождать бесконечное число грамматически правильных предложений? Почему носители языка интуитивно чувствуют, что одни фраз грамматичны, а другие – нет? Как связаны между собой поверхностная структура предложения (т.е. то, что мы произносим) и его значение?

В практической деятельности синтаксические модели нужны, чтобы фиксировать наборы структур и ограничений языка в соответствии с правилами, а не с интуицией исследователя. Модели также необходимы для автоматического распознавания и порождения грамматически правильных предложений. Еще одна цель формального синтаксического моделирования – это объяснение различных синтаксических явлений (согласования, управления, выбора порядка слов и т.д.). Наконец, синтаксические модели используются в автоматической обработке естественного языка, например, при парсинге, генерации текста или проверке гипотез на корпусе.

В главе прослеживается эволюция генеративной грамматики Н. Хомского – от стандартной и расширенной стандартной теорий к теории управления и связывания и минималистской программе. Минимализм представлен как исследовательская программа, стремящаяся объяснить языковую способность с помощью минимального набора универсальных механизмов.

Значительное место в главе занимают альтернативные лексикалистские и декларативные теории синтаксиса – вершинная грамматика составляющих (HPSG) и лексико-функциональная грамматика (LFG). Рассматриваются их ключевые принципы, такие как отказ от трансформаций, использование признаковых структур, центральная роль лексикона и разделение синтаксических репрезентаций на несколько независимых уровней. В частности, подробно описывается различие между структурой составляющих (c-structure) и функциональной структурой (f-structure) в LFG. Глава демонстрирует, что разные синтаксические теории предлагают альтернативные, но взаимодополняющие способы описания грамматической организации языка.

В ранних генеративных моделях синтаксическому блоку отводилась главная роль, поскольку задачей моделирования было описание языковой способности человека, а она понималась как умение строить и понимать бесконечное количество грамматически безупречных высказываний. Можно утверждать, что первые синтаксические модели были ориентированы на создание полной и непротиворечивой в математическом смысле теории языка.

Создание формальных моделей синтаксического уровня становится возможным благодаря двум важным свойствам естественного языка. Первое свойство – это иерархическое устройство языковой системы, которое позволяет говорящему создавать более сложные единицы из более простых. Из этого следует, что на синтаксическом уровне можно установить и описать отношения между более простыми языковыми единицами в составе более сложной. Второе свойство – это существование в языке системы правил, благодаря которой мы можем порождать неограниченное количество грамматически правильных предложений. Поэтому синтаксическую модель можно определить как набор следующих компонентов: *(а) представление структуры + (б) правила/ограничения + (в) лексикон + (г) алгоритм вывода*.

Одним из основных вопросов в формальном моделировании синтаксиса является вопрос выбора способа представления синтаксической структуры предложения. Кратко рассмотрим два основных варианта: грамматику непосредственно составляющих и грамматику зависимостей.

§ 1. Способы представления синтаксической структуры предложения

Языковые единицы, входящие в высказывание, образуют линейную цепочку. Однако функциональная нагрузка компонентов высказывания существенно различаются. С точки зрения носителя языка в любом высказывании в парах связанных друг с другом слов почти всегда одно слово будет «главнее» другого. На основании отноше-

ний, в которые вступают языковые единицы внутри высказывания, структуру этого высказывания можно представить в виде иерархии.

В зависимости от того, какой тип отношений оказывается в фокусе внимания исследователя, грамматическая структура предложения чаще всего моделируется либо в виде структуры *непосредственно составляющих*, либо в виде *дерева зависимостей*.

Если использование структур непосредственно составляющих предполагает образование сложных синтаксических конструкций из набора более простых линейно непересекающихся (проективных) отрезков, то грамматика зависимостей предполагает построение дерева на основе бинарных отношений подчинения зависимого слова главному.

Чтобы понять, в чем заключаются преимущества и недостатки этих способов представления синтаксической структуры предложения, рассмотрим идеи, лежащие в основе грамматики непосредственно составляющих и грамматики зависимостей.

§ 2. Грамматика непосредственно составляющих

В основе грамматики непосредственно составляющих лежит представление о том, что предложение – это не линейно упорядоченная цепочка словоформ, а иерархия вложенных друг в друга единиц, которые называются составляющими (или конституентами).

При таком подходе элементарной единицей синтаксического анализа является синтаксическая группа, которая может состоять как из нескольких словоформ, так и из единственной словоформы; структурным отношением между словосочетаниями является отношение включения одного словосочетания в другое. Процесс анализа – это последовательное членение предложения на все более мелкие составляющие до тех пор, пока мы не дойдем до отдельных словоформ.

Структура составляющих может быть представлена в виде дерева, корнем которого является полная составляющая *S*, а висячими узлами – словоформы, т.е. минимальные единицы. Такое дерево принято называть *деревом непосредственно составляющих (НС-деревом)*.

В русском языке в большинстве случаев удается приписать предложениям вполне естественные структуры составляющих, опираясь на интуицию носителей языка и понимание содержания предложения (рис. 8.1). Это же предложение можно представить в скобочной записи:

[S [NP [N *Он*]] [VP [V *вернулся*] [AdvP [Adv *домой*]] [AdvP [Adv *поздно*] [Adv *вечером*]]]].

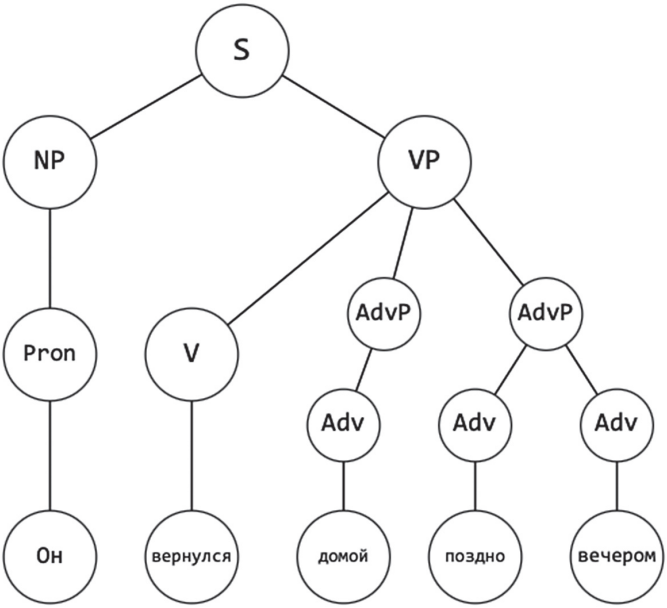


Рис. 8.1. Дерево НС-составляющих для предложения «*Он вернулся домой поздно вечером*»

Однако бывают случаи, когда линейность отрезков в высказывании по какой-либо причине оказывается нарушенной, и тогда построение дерева НС оказывается невозможным, поскольку структура высказывания является непроективной, т.е. синтаксические зависимости пересекаются. Например, в пушкинской строке *Он из*

Германии туманной привез учености плоды линейность отрезков оказывается нарушенной, поскольку определение *туманной* относится не к *Германии*, а к *учености*. Если мы изобразим синтаксическую организацию этой фразы в виде непосредственно составляющих, то увидим, что составляющая *«туманной…учености плоды*» нарушает требование проективности, которое должно обязательно выполняться. Следовательно, вся структура предложения формально не удовлетворяет определению системы составляющих.

Несмотря на трудности анализа по составляющим отдельных предложений, которые связаны в основном с нарушением нормативного порядка слов в предложении, системы непосредственно составляющих вполне адекватно отражают структуру предложения как с грамматической, так и с синтаксической точки зрения. Удобство такого способа представления синтаксической структуры состоит, например, в том, что омонимичные предложения могут быть представлены различными структурами составляющих. В качестве примера приведем фразу *На праздник пришли знакомые девочки и мальчики.* В этом предложении определение *знакомые* может относиться либо только к девочкам, либо и к девочкам, и к мальчикам. В зависимости от толкования данного предложения м можем создать два различных дерева (рис. 8.2 и 8.3). Дерево на рис. 8.2 соответствует значению предложения *На праздник пришли и знакомые девочки, и знакомые мальчики.* Дерево на рис. 8.3 трактует это предложение таким образом: *на праздник пришли знакомые девочки и какие-то мальчики (необязательно знакомые).*

Таким образом, способность различать омонимию на синтаксическом уровне является одним из существенных достоинств модели непосредственно составляющих.

Запись, в которой каждая оставляющая имеет метку (имя) класса слова или словосочетания, называют размеченной структурой составляющих. Существуют разные системы разметки, в которых с разной степенью точности описываются синтаксические свойства составляющих и их отношения внутри фразы.

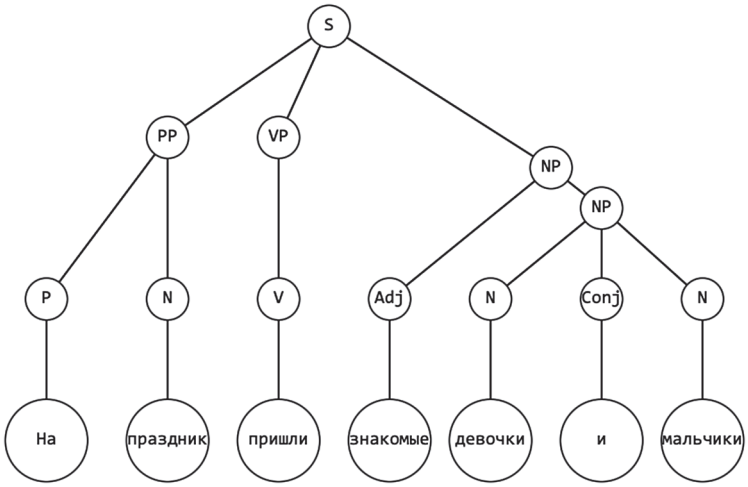


Рис. 8.2. Дерево НС-составляющих для предложения [S [PP На праздник] [VP пришли [NP [AdjP знакомые] [NPcoord [N девочки] и [N мальчики]]]]]

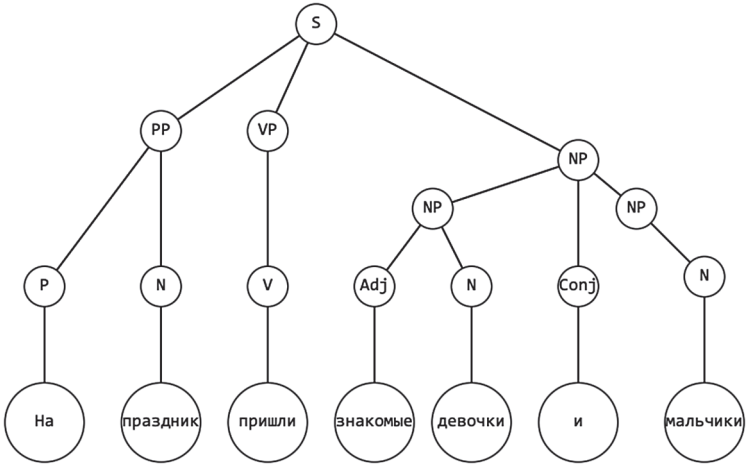


Рис. 8.3. Дерево НС-составляющих для предложения [S [PP На праздник] [VP пришли [NP [NP [Adj знакомые] [N девочки]] [Conj и] [NP [N мальчики]]]]]].

§ 3. Грамматика зависимостей

В отличие от грамматики непосредственно составляющих, которая оперирует синтаксическими группами и показывает, из каких компонентов состоит предложение, грамматика зависимостей рассматривает предложение как сеть бинарных асимметричных отношений между отдельными словоформами и отвечает на вопрос, что от чего зависит.

Базовыми понятиями грамматики зависимостей являются понятия вершины и зависимого слова. Вершина – это слово, которое подчиняет себе зависимое слово и определяет его синтаксические характеристики и грамматическую категорию фразы в целом. Синтаксическая связь всегда направлена от вершины к зависимому и выражает определенный тип отношений. Результаты анализа представляются в виде дерева зависимостей, т.е. графа, где словоформы являются узлами графа, а ориентированные ребра отражают направление связи.

Важно помнить, что в грамматике зависимостей деревья показывают только взаимосвязи вершин и их зависимостей и порядок следования слов. Никакая информация морфологического характера, никакие сведения о семантике в этом дереве не отражаются.

Какие лингвистические идеи стали базой для разработки деревьев зависимостей? В основе этой модели лежат две достаточно известные идеи: *идея развертывания синтагматических связей в предложении*, а также *идея управления как определенного синтаксического свойства слова*. Рассмотрим основные принципы построения грамматики зависимостей.

1. Минимальной единицей в предложении на синтаксическом уровне является словоформа. Служебные слова также рассматриваются как минимальные элементы синтаксической структуры.

2. Словоформы в предложении связаны отношением зависимости (подчинения). Отношение зависимости объединяет в себе традиционные понятия управления, согласования и примыкания.

3. В предложении есть одно абсолютно независимое слово – сказуемое. Все другие слова подчинены какому-нибудь «хозяину», причем только одному (т.е. у слова не может быть одновременно двух вершин). Одно слово может подчинять себе несколько других слов одновременно. Исходя из этого в системе подчинений можно выделить два элементарных типа связей в группе слов: *ветвление* (когда одному слову подчинено несколько других слов) и *цепочка подчинений* (где каждое следующее слово зависит от предыдущего). Структура зависимостей завершается на уровне словоформ, которым уже не подчинены никакие другие слова.

4. Каждая словоформа имеет свой набор управлений, который определяет поведение этой словоформы при построении конкретных предложений. Набор управлений – это, по сути, валентности слов, т.е. возможные варианты синтаксической сочетаемости словоформы с ее зависимыми.

5. Иерархическая структура зависимостей между словоформами в предложении может изображаться с помощью скобок, стрелок, но чаще всего – в виде дерева зависимостей. Пример дерева зависимостей представлен на рис. 8.4.

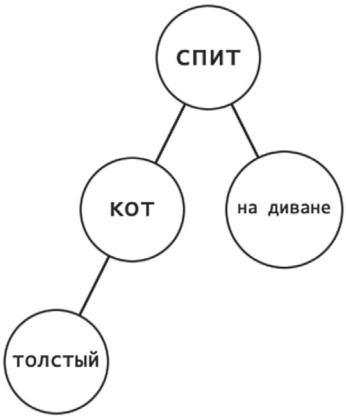


Рис. 8.4. Дерево зависимостей для предложения *Толстый кот спит на диване*

Работы по грамматике зависимостей появились в отечественной лингвистике в начале 60-х годов, а в европейской – несколько раньше. Уже первые шаги в этом направлении показали, насколько аппарат грамматики зависимостей удобнее для описания флективных языков с нефиксированным порядком слов по сравнению с системой непосредственно составляющих.

Возможность появления зависимости между парой слов в предложении получила название *валентности.* С.Д. Кацнельсон определил валентность как «*свойство слов определенным образом реализовываться в предложении и вступать в определенные комбинации с другими словами*» [Кацнельсон 1948, с. 132]. Теории синтаксической валентности отводится значительное место в работах Л. Теньера. Однако у него это понятие сужено до глагольной валентности, т.е. валентность определяется числом участников действия, которыми управляет глагол. Число актантов не превышает трех и поддается строгому исчислению.

В отечественной лингвистике понятие валентности трактуется гораздо шире: оно распространяется с глагола и на другие группы слов, а в наиболее широком толковании понимается как сочетаемость одного языкового элемента с другими языковыми элементами.

При построении структуры зависимостей мы должны соблюдать два правила. Во-первых, необходимо помнить о том, что синтаксическая зависимость всегда является асимметричной. Это означает, что, если словоформа X является вершиной для словоформы Y, то Y не может быть вершиной для X. Асимметричное отношение между вершиной и зависимым словом выражается формулой

$$X \rightarrow Y \nrightarrow (Y \rightarrow X).$$

Второе правило говорит о том, что синтаксическая зависимость является *антитранзитивным отношением*, т.е. никакая словоформа X не может быть одновременно вершиной двух зависимых узлов – Y и Z, если Y – вершина Z.

Запишем это правило в виде формулы:

$$(X \rightarrow Y) \,\&\, (Y \rightarrow Z) \nrightarrow (X \rightarrow Z)$$

Поясним данное правило графически (рис. 8.5). Знак * указывает на невозможность данной ситуации:

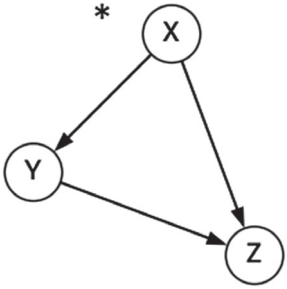


Рис. 8.5. Невозможность наличия двух вершин у одной зависимой словоформы в предложении

Как и структуры составляющих, деревья зависимостей обладают достаточной «различительной силой» для разрешения структурной омонимии предложений (рис. 8.6 и рис. 8.7):



Рис. 8.6. Дерево зависимостей для предложения [Он [вынул [трубку [из глины]]]]



Рис. 8.7. Дерево зависимостей для предложения [Он [вынул [трубку] [из глины]]]

В нашем примере структура зависимостей на рис. 8.6 соответствует смыслу предложения: *Он вынул трубку, сделанную из глины*, а структура на рис. 8.7 – *Он вынул (какую-то) трубку, лежавшую в глине.*

§ 4. Соотношение грамматики непосредственно составляющих и грамматики зависимостей

Как соотносятся грамматика непосредственно составляющих и грамматика зависимостей? Поскольку эти способы представления синтаксической структуры предложения различаются не только формальными признаками, но и вниманием к таким аспектам языка, как членение языковых выражений, управление, область действия предикатов и их аргументов и т.д., о преимуществах и недостатках грамматики непосредственно составляющих и грамматики зависимостей можно говорить только применительно к тем задачам, для решения которых они используются.

Обычно грамматика непосредственно составляющих задается как контекстно-свободная грамматика с множеством нетерминалов (S, NP, VP, PP, N, V и т.д.), множеством терминалов (т.е. конкретных слов) и правилами переписывания (см. Главу 4). Формальное моделирование идет через построение дерева фраз из S.

В грамматике зависимостей задается инвентарь типов зависимых и для каждого слова описывается, какие типовые зависимые ему нужны. Формальная структура порождается с использованием правил валентности.

Представление структуры предложения в виде непосредственно составляющих используется для языков с жестким порядком слов; представление в терминах деревьев зависимостей чаще применяется для языков со свободным порядком слов.

Считается, что преимущество грамматики зависимостей заключается в ее способности различать вершину и зависимые. Это облегчает анализ синтаксической сочетаемости, поскольку способность

языковых единиц сочетаться или не сочетаться друг с другом часто описывают с использованием понятий вершины и зависимого.

Считается также, что в терминах грамматики зависимостей легче описывать непроективные структуры, поскольку нет необходимости в создании дополнительных формализмов (передвижение + следы, пустые категории и др.), как в грамматике непосредственно составляющих.

Преимущества структур составляющих над структурами зависимостей сводятся к следующим. Во-первых, структура составляющих дает полное представление об иерархической структуре предложения, которую используют для описания вложенных структур и передвижения групп. Если в размеченной НС-структуре обозначены все синтаксические единицы – от предложения до отдельного слова, то в дереве зависимостей собственно синтаксических единиц нет, а используется только синтаксическое отношение «главное слово → зависимое слово». Важность иерархической организации состоит в том, что синтаксические правила могут применяться не к отдельным словам и не к множествам попарно синтаксически связанных слов, а к синтаксическим единицам – синтаксическим группам и терминальным категориям. Использование фразовых категорий удобно и для описания рекурсивности синтаксических структур. Под рекурсивностью понимается возможность к бесконечному усложнению за счет «вложения» синтаксических групп, принадлежащих к одной и той же категории, друг в друга (как в известном детском стихотворении «Вот дом, который построил Джек»).

Поскольку грамматика зависимостей не отражает иерархию групп, она не может показать степень прочности грамматической связи зависимых слов с одной и той же вершиной. Более тесная связь обычно видна из порядка слов, когда между более тесно связанными составляющими не может располагаться никакая другая составляющая. Однако структура составляющих наглядно демонстрирует различия в степени грамматической связанности составля-

ющих (см. рис. 8.8): древовидная структура показывает, что наиболее тесно связанные группы находятся рядом, поэтому предложение *John studies Math in Yale* является грамматичным (при невозможном **John studies in Yale Math).*

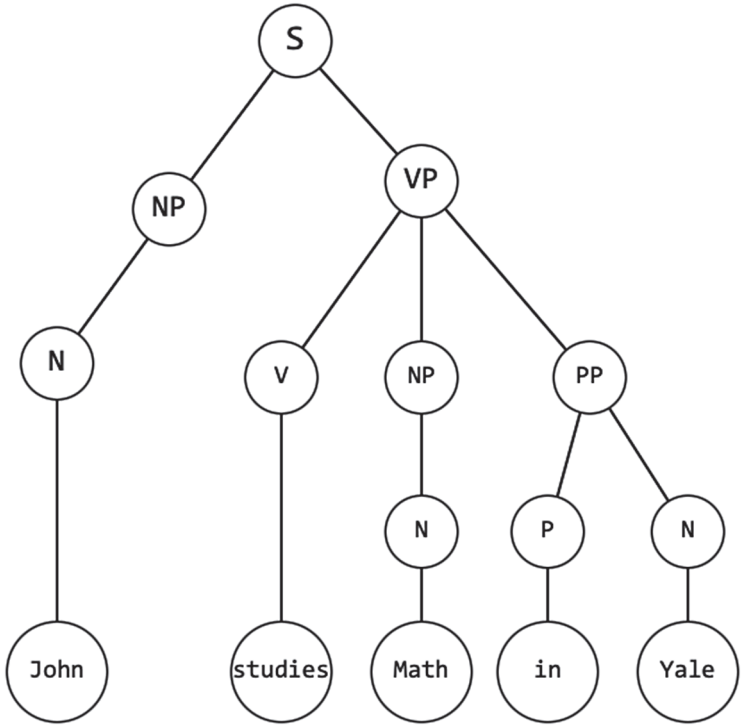


Рис. 8.8. Дерево непосредственно составляющих для предложения *John studies Math in Yale*

Сходства и различия двух способов представления грамматической структуры предложения, а также их сильные и слабые стороны обобщены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Характеристики грамматики непосредственно составляющих и грамматики зависимостей

Критерий	Грамматика непосредственно составляющих	Грамматика зависимостей
Основная единица анализа	Синтаксические группы (S, NP, VP, PP и т.д.)	Словоформы и связи между ними (*главное слово → зависимое слово*)
Тип дерева	Дерево непосредственно составляющих	Дерево зависимостей
Отношения между узлами	Иерархия вложенных групп	Ориентированные связи «*главное слово → зависимое слово*»
Отношение к порядку слов	Порядок слов обычно задается самими правилами (например, S → NP VP)	Порядок не задан структурой; линейность моделируется отдельно
Формальная основа	Контекстно-свободные грамматики	Валентность, набор типов зависимостей
Корень дерева	Узел S (предложение) или другой нетерминал	Обычно глагол-предикат
Согласование и управление	Моделируются как признаки фраз	Моделируются как ограничения на дуги head → dependent
Представление аргументной структуры	Через состав фраз (NP, PP)	Напрямую: субъект, объект, обстоятельства как типы зависимостей
Работа со свободным порядком слов	Сложно: много правил / движение	Естественно: одна структура для разных линейных вариантов
Преимущества	Хорошо описывает фразовую иерархию, острова, вложенность	Легко описывает семантические роли, валентность, предикатно-аргументные структуры
Недостатки	Тяжело применять для языков со свободным порядком слов; грамматика разрастается	Нет явных фразовых конституентов; координация сложна

§ 5. Переход от описательных к объяснительным синтаксическим теориям

История описания синтаксиса естественных языков (точнее, описаний грамматики) насчитывает несколько тысяч лет. Потребность в грамматическом описании легко объяснима: во-первых, необходимо было обучать языкам. Во-вторых, языки изменчивы, и, по традиции, из поколения в поколение изменения воспринимаются носителями языка как ухудшения. Роль грамматик заключалась в сохранении «правильного», «хорошего» языка. Поэтому практически до середины XX века все описания носили исключительно прескриптивный характер: в грамматиках устанавливались правила употребления языковых структур.

Положение изменилось, когда на смену диахроническим исследованиям пришли структурные методы анализа языка. В сферу интересов лингвистов попали бесписьменные языки, которые практически невозможно изучать методами сравнительно-исторического языкознания: ведь данные об их более ранних этапах существования нигде не зафиксированы.

Изучая различные языки, лингвисты обнаружили большое разнообразие способов кодирования грамматической информации. Богатый фактический материал позволил сделать вывод о том, что структура любого естественного языка по своей сложности намного превосходит сложность любой другой знаковой системы. Несмотря на это, маленькие дети с удивительной легкостью усваивают язык без учебников, объяснения правил и специальных упражнений. Это противоречие между сложностью внутренней структуры естественного языка и легкостью его усвоения в раннем детстве побудило лингвистов взглянуть на синтаксис по-другому, и от описательных моделей перейти к моделям объяснительным.

В 1957 году появилась книга Ноама Хомского «Синтаксические структуры». С этого момента принято говорить о появлении в лингвистике нового направления – генеративной (порождающей) грамматики. Новое направление пришло на смену лингвистическо-

му структурализму. Если основной целью изучения языка в рамках структурализма было детальное *описание* его грамматики, то генеративная грамматика была направлена на *объяснение* фактов естественного языка. Благодаря генеративному подходу лингвисты перешли от исчисления языковых фактов и явлений к поиску ответа на вопрос, что именно составляет знание языка, за счет чего любой язык так быстро усваивается в раннем детстве, почему глобальные типологические различия между языками не препятствуют их усвоению.

Модель Н. Хомского называется порождающей (генеративной) трансформационной грамматикой: слово *порождающая* (*генеративная*) указывает на то, что она содержит системы правил для порождения (генерирования) бесконечного множества грамматически правильных предложений. По мнению Н. Хомского, с помощью этих правил можно объяснить способность носителя естественного языка порождать и понимать бесконечное число абсолютно новых высказываний, т.е. таких, которых носители языка прежде никогда не слышали. Другая часть названия грамматики – *трансформационная* – указывает на то, что помимо правил, которые описывают структуру предложения, в грамматику также включены трансформационные правила, которые преобразуют эту структуру, передвигая, меняя местами или удаляя ее элементы.

В книге "Aspects of the Theory of Syntax", которая вышла в 1965 году, Хомский описывает модель, которая получила название *универсальной грамматики*. Основная идея Хомского – поиск принципов, которые лежат в основе основой устройства любого естественного языка, – сопоставима с представлением о том, что все многообразие природных явлений определяется ограниченным количеством фундаментальных законов физики. Естественные языки при всем их типологическом разнообразии должны подчиняться общим закономерностям.

Поиск лингвистических универсалий должен был, по замыслу Хомского, привести к созданию универсальной грамматики, которая характеризует начальный компонент знания языка. Универсальная грамматика должна включать в себя множество принципов и

ограничений, которые определяют, какие грамматики могут быть грамматиками естественных языков. Универсальная грамматика – это тот самый врожденный компонент, благодаря которому ребенок усваивает язык в раннем детстве. Модель стандартной теории описывает усвоение языка следующим образом: ребенок рождается с «предустановленной» универсальной грамматикой – набором врожденных принципов и ограничений на грамматику естественного языка. Несмотря на то, что языковой опыт ребенка ограниченный и несовершенный, на основе универсальной грамматики и того, что ребенок слышит, он конструирует грамматику своего родного языка. Благодаря универсальной грамматике возможное количество гипотез об «устройстве» грамматики естественного языка сужается настолько, чтобы ребенок мог усвоить родной язык за относительно короткое время при достаточно бедном внешнем стимуле.

Хомский вводит два важных понятия: *компетенцию* носителя языка (competence) и *употребление* (performance). Очевидное умение носителя языка отличать грамматически правильные предложения от неправильных Хомский называет языковой компетенцией. Моделирование языковой компетенции становится одной из основных задач генеративной грамматики.

Употребление – это способность человека использовать язык в реальной ситуации общения. Построение моделей употребления, по мнению Хомского, является самостоятельной задачей. Кроме того, Хомский считал, что языковая компетенция существует независимо от употребления.

Порождающая грамматика описывает компетенцию носителя языка на метаязыке формальной грамматики. В результате модель имеет вид вычислительного механизма, который в идеале способен порождать бесконечное множество грамматически правильных предложений.

Как можно установить, насколько мощной объяснительной силой обладает та или иная модель грамматики языка? Для того, чтобы оценить возможности моделей, Хомский предложил оценивать их с

точки зрения уровня адекватности, т.е. способности отвечать различным исследовательским запросам.

Считается, что грамматика, которая правильно описывает имеющийся набор данных, достигает так называемой *наблюдательной адекватности*. Она позволяет отличать грамматичные предложения от неграмматичных и отклоняет те предложения, которые носитель явно считает неприемлемыми. Такая грамматика совпадает с нашими *наблюдениями*; она подходит только для анализа некоторого корпуса текстов, но она не объясняет, как язык усваивается ребенком. На наблюдательном уровне от грамматики не требуется объяснять структуру предложений или какие-то общие свойства языка. Она не отвечает на вопрос, почему предложения устроены так, а не иначе.

Более высокий уровень адекватности грамматики – это уровень *описательной адекватности*. На этом уровне грамматика правильно описывает внутреннюю систему знаний носителя конкретного языка, т.е. она дает структурные описания предложений (например, в виде деревьев) и описывает устройство предложений с точки зрения связей между его единицами. Грамматика на уровне описательной адекватности действует так, как носитель языка и реалистично моделирует знание носителя о структуре его языка.

Самый высокий уровень – это уровень *объяснительной адекватности*. Грамматика достигает объяснительной адекватности, когда она может ответить на вопрос, каким образом язык усваивается ребенком, несмотря на «бедность стимула». На этом уровне вопросы о механизмах усвоения языка и о принципах, которые являются общими для всех языков, становятся центральными. Грамматика на уровне объяснительной адекватности должна сделать понятным, почему возможны именно такие языки, а не любые формальные системы, и почему дети приходят именно к тем грамматикам, которыми определяются естественные языки.

По замыслу Хомского, порождающая грамматика должна достигать адекватности на всех уровнях, т.е. объяснять усвоение языка (в том числе, почему ребенок не приходит к грамматике, несовме-

стимой с универсальной грамматикой), объяснять, почему во всех языках есть определенные свойства и давать адекватное описание грамматик разных естественных языков. Иными словами, объяснительная адекватность – это уровень, когда грамматика не только описывает некоторое конечное состояние (т.е. грамматику взрослого носителя языка), но и то, как это состояние возникает и почему оно вообще возможно.

§ 6. Ранняя версия порождающей грамматики и Стандартная теория

В истории лингвистики выделяют несколько этапов развития порождающей грамматики. Рассмотрение эволюции этой модели начнем с ее ранней версии, которую в лингвистической литературе принято называть *Стандартной теорией (Standard Theory)*.

Одним из основных положений Стандартной теории является идея о том, что звук и значение связаны друг с другом не непосредственно, а через синтаксическую репрезентацию. Синтаксис становится важнейшим связующим звеном между значением высказывания и его фонетической оболочкой (порождение фонетической репрезентации подробно описано в Главе 6).

Синтаксический компонент грамматики включает в себя два компонента:

1) базовый компонент, который содержит правила построения предложений, которые позволяют носителю языка порождать бесконечное число высказываний, и лексикон – список лексем с их грамматическими признаками;

2) трансформационный компонент, который включает в себя набор трансформационных правил, которые превращают глубинные структуры в поверхностные.

Стандартная теория базирует на идее о том, что синтаксические представления (репрезентации) имеют два уровня – уровень *глубинной структуры* (D-structure / Deep structure) и уровень *поверхностной структуры* (S-structure / Surface structure). Переход от глубин-

ного уровня к поверхностному происходит благодаря трансформациям. Трансформации – это особая группа правил, которыми определяются такие синтаксические преобразования, как перемещения элементов внутри высказывания, их вставка или удаление. Трансформации могут переводить одну глубинную структуру в несколько разных поверхностных структур. Например, пары предложений 1а и 1б, 2а и 2б в русском и в английском языках при очевидной разнице поверхностных структур имеют общую глубинную структуру, а пассивная конструкция получается путем применения трансформации пассивизации:

1а. Кот поймал мышь.

1б. Мышь была поймана котом.

2а. John broke the window.

2б. The window was broken by John.

Таким образом, любая поверхностная структура является производной от глубинной структуры.

В качестве формального аппарата представления синтаксической структуры предложения в Стандартной теории используются НС-структуры. Сама глубинная структура создается правилами структуры составляющих (phrase-structure rules/ PS-rules), которые задают иерархическую структуру и определяют, какие категории входят в состав предложения. Правила структуры составляющих последовательно переписывают категории, строя «скелет» предложения – дерево непосредственно составляющих, – а затем лексикон заполняет этот «скелет» словами. Единицы, хранящиеся в лексиконе, описываются набором признаков: указывается часть речи, валентность, морфосинтаксические характеристики. Это необходимо, чтобы на этапе заполнения «скелета» предложения в него подставлялись только те слова, которые соответствуют ему грамматически. Далее полученное глубинное представление предложения подвергается действию различных трансформационных правил, которые преобразуют его в нужное поверхностное представление, например, в отрицательную конструкцию или вопрос.

Этапы работы синтаксического компонента можно схематически представить следующим образом (рис. 8.9):



Рис. 8.9. Этапы работы синтаксического блока в Стандартной версии генеративной грамматики

Таким образом, в результате работы базового компонента на глубинном уровне уже известен предикат и все его аргументы и заданы основные синтаксические отношения. Далее на этапе трансформаций предложение получает то оформление, которое необходимо для поверхностной структуры (например, утверждение может трансформироваться в вопрос или активный залог может трансформироваться в пассивный).

Рассмотрим компоненты синтаксического блока более подробно.

Правила структуры составляющих и глубинная структура. Роль правил структуры составляющих заключается в порождении

бесконечного количества предложений; однако при этом число правил ограничено. Правила структуры составляющих действуют подобно алгоритму: они позволяют заменять (т.е. переписывать) символы внутри предложения, поэтому эти правила также называются *правилами переписывания*. Правила структуры составляющих всегда имеют вид

S → NP VP
VP → V NP
NP → Det N

Первое правило означает, что составляющая S (предложение) состоит из более простых элементов – составляющих NP (именная группа) и VP (глагольная группа. В свою очередь, составляющая VP может включать в себя фразовые группы V (глагол) и NP, а группа NP – группы Det (определитель) и N (существительное). Мы уже знаем, что такую структуру составляющих можно изобразить в виде дерева (рис. 8.10).

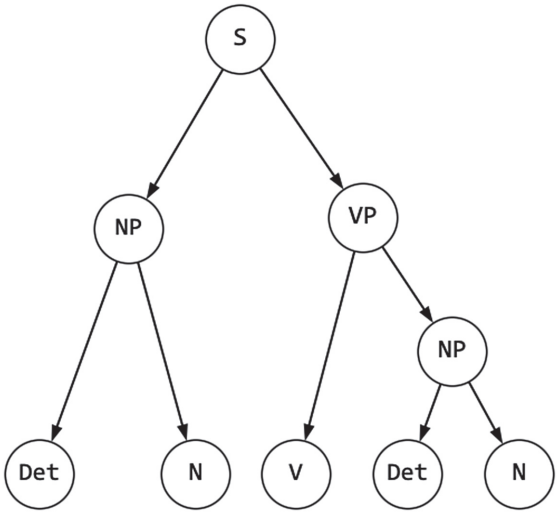


Рис. 8.10. Представление синтаксической структуры предложения в виде дерева

Еще один способ записи структуры составляющих – это скобочная запись: [S [NP [Det] [N]] [VP [V] [NP [Det] [N]]].

Скобочная запись менее удобна, однако она используется в тех случаях, когда в фокусе внимания оказывается такое явление, как *рекурсивность*. Рекурсивностью называется способность некоторой фразовой категории включать в себя составляющие той же фразовой категории. Почему это понятие оказывается важным для порождающей грамматики? Дело в том, что благодаря рекурсии любое предложение может усложняться бесконечно, например,

Петя думает, что Маша знает, что Сережа говорит, что Лена…

В большинстве языков мира форма зависимых придаточных предложения является идентичной форме главных предложений. Это означает, что глагол может иметь прямое дополнение, выраженное придаточным предложением. Такая ситуация требует введения дополнительных правил, позволяющих рекурсию, т.е включения одного предложения в состав другого. В порождающей грамматике Хомского эти правила имеют следующий вид:

а) VP → V(S’)

б) S’ → COMP S’

Скобки в первом правиле обозначают факультативность элемента, т.е. придаточное предложение является возможным в составе глагольной группы, но не обязательным. Во втором правиле появляется новое обозначение COMP, т.е. комплементатор. Этим термином обозначаются подчинительные союзы типа *чтобы, что, как*, которые вводят зависимые придаточные предложения в состав сложного предложения. Вот как выглядит дерево для сложноподчиненного предложения *Петр знает, что кот украл его колбасу* (рис. 8.11):

Трансформации и поверхностная структура. Правила непосредственно составляющих определяют вид глубинной структуры предложения, но сфера действия этих правил оказывается ограниченной. Например, правила непосредственно составляющих не способны порождать вопросительные или отрицательные предложения, поскольку они требуют дополнительных операций.

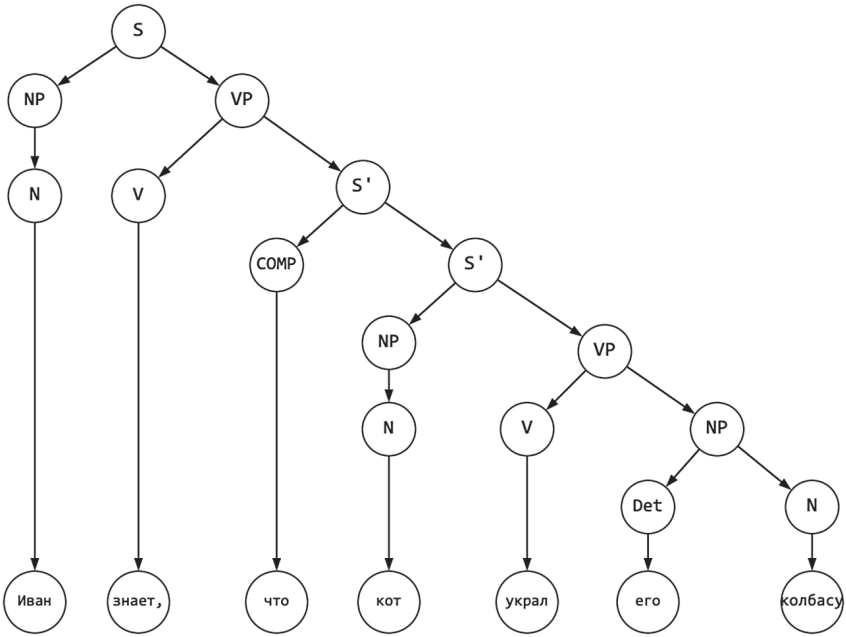


Рис. 8.11. Дерево непосредственно составляющих для предложения *Иван знает, что кот украл его колбасу*

Для того, чтобы преобразовать утвердительное предложение в вопросительное, требуется перемещение составляющей в начало предложения. В отрицательных предложениях требуется вставка отрицательной частицы или частиц. За эти операции и отвечают трансформации.

В качестве примера действия трансформационных правил рассмотрим порождение вопросительной конструкции. В вопросе *Что ты подаришь ему на этот день рождения?* переходный глагол *подарить* требует обязательного прямого дополнения. Если дополнения нет, предложение становится неграмматичным (Ср. **Я узнал, что она подарила*). Грамматичность вопросительного предложения

обеспечивается тем, что вопросительное слово *что* является дополнением глагола *подарить*. Глубинная структура вопроса *Что ты подаришь другу на день рождения?* выглядит так (рис. 8.12):

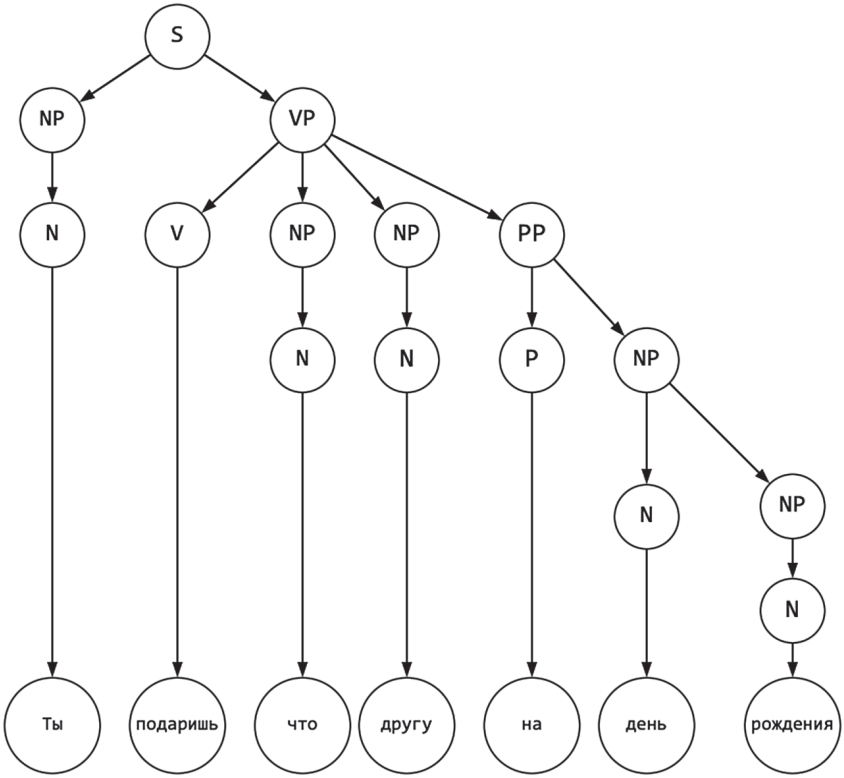


Рис. 8.12. НС-дерево глубинной структуры предложения *Что ты подаришь другу на день рождения?*

Однако в поверхностной структуре вопросительное слово *что* оказывается в начале предложения. Это пример применения вопросительной трансформации, когда вопросительное слово перемещается на первую позицию. Важно, что трансформационные правила работают не с линейным порядком слов, а с составляющими.

Трансформационные правила в Стандартной теории отличаются от правил структуры составляющих. Любая трансформация включает в себя два компонента: структурное описание и структурное изменение.

Структурное описание (Structural Description, SD) – это условие применимости трансформации. Оно описывает, какую конфигурацию непосредственно составляющих нужно найти в дереве, какое должно быть окружение, какие категории и признаки она должна включать. Если структура предложения не удовлетворяет структурному описанию, трансформация применяться не может.

Структурное изменение (structural change, SC) – это то, что трансформация делает с найденной структурой. Иными словами, если структурное описание – это то, что нужно найти в дереве, то структурное изменение – это то, как именно необходимо перестроить эту конфигурацию, чтобы получить грамматически правильное предложение. Структурное изменение может касаться перемещения узлов, добавления или удаления вспомогательных элементов и т.д. Например, для вопросительной трансформации в английском языке необходимо переместить вспомогательный глагол (Aux) из-под VP в позицию непосредственно перед NP подлежащего в том же S. На рис. 8.13 представлено структурное описание глубинной структуры *Mary will read the book.* Из этой структуры нам необходимо получить вопросительное предложение. Итоговый вариант структурного изменения, полученный в результате применения вопросительной трансформации, представлен на рис. 8.14.

Первые описания английского языка в рамках трансформационной грамматики были направлены на выявление конечного списка таких трансформаций. Каждая трансформация имела точно определенное структурное описание и структурное изменение, что ограничивало порождающую способность трансформационной модели в целом.

Однако очевидно, что при всей математической строгости система трансформаций не дает ответа на вопрос о том, как усваивается родной язык, поскольку список трансформаций является разным

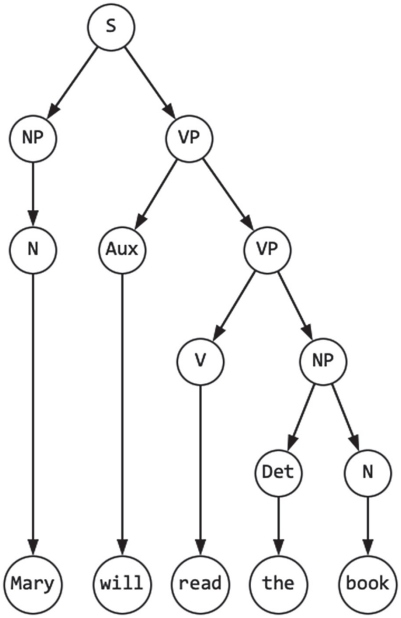


Рис. 8.13. Структурное описание глубинной структуры *Mary will read the book*

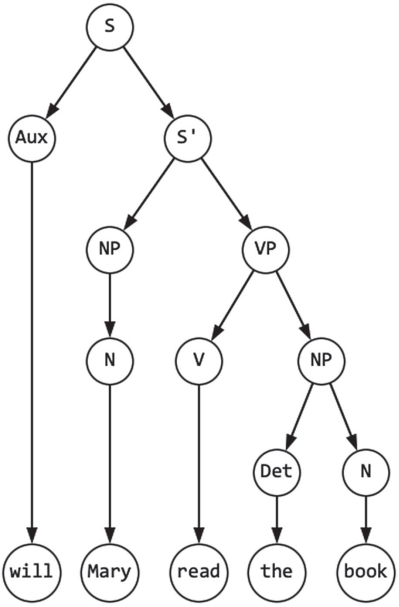


Рис. 8.14. Структурное изменение глубинной структуры *Mary will read the book* в результате вопросительной трансформации

для разных языков. Кроме того, трансформации должны были применяться в строгой последовательности, чтобы получать грамматичные высказывания. Поэтому, несмотря на высокую объяснительную силу трансформационной теории, генеративисты стали предлагать различные модификации теории для того, чтобы она могла быть применима к разным языкам. Процесс модификации продолжался почти два десятилетия (1960–1970-е годы) и привел к появлению принципиально нового генеративного подхода к анализу грамматики отдельных языков. Новая версия получила название Расширенной стандартной теории.

§ 7. Расширенная стандартная теория

Расширенная стандартная теория (РСТ) – это переходный, но очень важный этап в развитии генеративной грамматики. Главное отличие Расширенной теории от Стандартной состоит в том, что в ней гораздо более важная роль отводится семантике: она перестает быть привязанной только к глубинной структуре. Было признано, что синтаксис не может отвечать за все языковые процессы и что знание языка должно включать в себя многочисленные лексические правила и правила семантической интерпретации. Вот как выглядит схема Расширенной стандартной теории (рис. 8.15).

Таким образом, РСТ включает в себя не только синтаксические правила и трансформации, но и семантический компонент языка, который взаимодействует и с глубинной, и с поверхностной структурой предложения.

Дальнейшее развитие Расширенной стандартной теории связано не только с именем Хомского, но и именем Джона Росса, автора диссертации «Ограничения на переменные в синтаксисе» (1967 г.), в которой он впервые сформулировал ограничения на передвижение (movement constraints), которые показывают, что некоторые непосредственно составляющие нельзя свободно перемещать внутри предложения из любого места. Росс описал классы структур, из которых передвижение невозможно или строго ограничено. Эти классы получили название *острова Росса* (Ross's islands):

1) Ограничение сложной именной группы (Complex NP Constraint) – нельзя извлекать элемент из относительного придаточного или придаточного предложения, которое находится внутри именной группы. Это ограничение демонстрирует невозможность получения поверхностной структуры типа *$*[_{NP}$ *Какую машину] ты слышал [$_S$ что она купила]]?* из глубинной структуры *Я слышал [$_S$ что она купила какую-то машину]?*



Рис. 8.15. Общая схема Расширенной стандартной теории

2) Ограничение на передвижение сочинительной конструкции (Coordinate Structure Constraint) – нельзя извлекать элемент только из одной части сочинительной конструкции. Из глубинной структуры *Я купил яблоки и груши* невозможно получить вопросительное предложение **Что ты купил и груши?*

3) Ограничение на ветвление влево (Left Branch Constraint) – *нельзя извлекать модификатор* (например, вопросительное слово «чей») из именной группы, если этот модификатор находится на левой ветви структуры. Например, в английском языке невозможны высказывания типа **Whose did you take book?*.

4) Ограничение сентенциального подлежащего (Sentential Subject Constraint) – *нельзя выносить элементы из придаточного предложения, которое само является подлежащим главного предложения*. Например, из исходной глубинной структуры *То, что она сказала эти слова – удивительно,* невозможно получить вопрос **Какие слова то, что она сказала – удивительно?*.

Роль островов сводилась к существенному ограничению порождающей способности трансформаций. Если в Стандартной версии генеративной грамматики считалось, что можно создавать множество трансформаций, которые почти ничем не ограничены, то Росс показал, что трансформации строго ограничены структурой языка, и эти ограничения универсальны, а не случайны. Важность работы Дж. Росса заключается в том, что генеративная грамматика перешла от грамматики правил к грамматике ограничений.

§ 8. Теория управления и связывания

К концу 1970-х гг. было опубликовано несколько фундаментальных статей, которые определили переход от расширенной стандартной теории к новому этапу развития генеративной грамматики. Этот этап получил название теории управления и связывания (Government and Binding Theory). В основе новой теории лежали

уже не трансформации и ограничения, а более общие принципы, которые должны объяснять, как язык усваивается ребенком и как носитель языка может порождать бесконечное множество грамматически правильных высказываний.

Цель новой версии генеративной грамматики существенно отличалась от цели исследований в более ранних вариантах: центр внимания переместился на поиск универсальных принципов, общих для всех естественных языков. Благодаря диссертации Дж. Росса стало ясно, что ограничения на применение трансформаций являются универсальными. Именно эта идея легла в основу Теории управления и связывания: в ней нет специфических правил для отдельных языков. Вместо них были введены универсальные ограничения, а все многообразие трансформаций было в результате сведено к единственной трансформации, которая получила название α-перемещения. Эта трансформация формулируется очень просто: «передвинь α, где α – любая составляющая». Теперь вместо набора трансформаций (например, вопросительной трансформации, пассивизации и т.д.) поверхностную структуру определяет α-перемещение, поведение которого определяется тем, что именно передвигается, куда и какие ограничения разрешают или запрещают это движение. Очевидно, что максимально обобщенная формулировка α-перемещения требует наложения ограничений, поэтому α-перемещение и ограничивалось общими универсальными принципами в сочетании со специфическими правилами конкретного языка. Считалось, что теория, в которой есть только одна трансформация, набор универсальных ограничений и набор частных правил конкретного языка, способна объяснить типологические различия между языками и пролить свет на процесс усвоения языка ребенком.

В результате появления теории управления и связывания получил развитие новый подход к изучению языка – модульный подход, который позволяет описывать отдельные языковые явления в рамках разных модулей. Каждый модуль имеет свои принципы и

взаимодействует с другими модулями. Модульный подход предполагает, что синтаксические различия между языками разных типов обусловлены различиями по ряду параметров, т.е. тем, на какие конкретные значения того или иного параметра «настроены» отдельные модули языковой системы. Тогда становятся легко объяснимыми синтаксические различия типа порядка слов.

В теории управления и связывания выделяется шесть модулей.

1. *X-штрих теория* (X-Bar Theory) отвечает за общую форму синтаксической группы. До появления этого модуля синтаксис описывался через специфические правила для каждой категории. Проблема такого описания заключалась в том, что правила повторялись и были похожи, а синтаксис выглядел как набор частных случаев.

Основные идеи X'-теории основаны на мысли о том, что предложения являются иерархически организованными объектами. Также важно, что на каждом уровне иерархии структура составляющей определяется на основе одних и тех же принципов. X-штрих теория – это попытка описать внутреннюю структуру всех типов фраз единым шаблоном, независимо от того, строим ли мы именную, глагольную, предложную группу или группу прилагательного. Возможность построить любую фразовую структуру по одному и тому же шаблону делает грамматику универсальной: вместо множества отдельных правил теперь имеется единый шаблон построения фразовой структуры (рис. 8.16).

Каждая категория X имеет три уровня проекции:

1. X^0 – вершина (head)
2. X′ (X-штрих, вершина промежуточного уровня)
3. XP (максимальная проекция)

На рис. 8.16 XP – это фразовая структура, X' и X^0 – вершины, т.е. главные составляющие группы, Comp(lement) – комплемент, т.е. зависимая составляющая, Spec(ifier) – спецификатор, в функции которого могут выступать указательные или притяжательные местоимения, артикли, некоторые наречия.

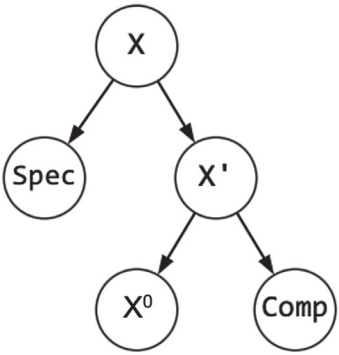


Рис. 8.16. Шаблон построения фразовой структуры в X'-теории

Вершиной X^0 может быть лексическая единица одной из следующих категорий:

- $N^0 \rightarrow$ *book*
- $V^0 \rightarrow$ *read*
- $A^0 \rightarrow$ *proud*
- $P^0 \rightarrow$ *in*

Вершина определяет категорию составляющей, задает валентность и назначает θ-роли. Узел Comp(lement), т.е. дополнение, находится ближе всего к вершине и структурно является сестринским узлом по отношению к ней, например:

- *read [a book]*
- *proud [of his son]*
- *depend [on you]*

Промежуточная проекция X′ объединяет вершину и ее дополнения. Это уровень, где формируется аргументная структура.

Узел Specifier (спецификатор) находится выше X′ и может заполняться разными элементами. Спецификатор – это структурная позиция, а не конкретная часть речи. Например, для именных групп

спецификатор часто выражает определенность или является квантификатором, а для групп прилагательных спецификатором часто выступает степень например:

- *[the] book, [every] book*
- *[very] proud of you*.

В X′-теории задаются категориально нейтральные правила порождения фраз:

1. XP → Spec X′
2. X′ → X^0 (Comp)
3. X′ → X′ Adjunct

Благодаря введению этих правил грамматика становится экономной, а структура высказывания – предсказуемой. Поскольку, по мнению Хомского, эти правила являются универсальными для всех языков, они объясняют, как ребенок усваивает язык.

Кроме обязательных аргументов, в структуре высказывания могут быть адъюнкты. Эти структурные позиции необязательны, они могут повторяться и обычно рекурсивны. Обычно адъюнкты присоединяются к уровню X′:

Примеры адъюнктов:

- *bought a book [yesterday]*
- *very proud [of you]*.

Модуль X′ – это своего рода «скелет», на который «навешиваются» остальные модули теории управления и связывания: на основе универсальной структуры фразовой категории определяются отношения с-командования, анафоры, глубинные падежи и т.д.

2. *Теория ограничения* (Bounding Theory) отвечает за ограничения на синтаксические перемещения. Основная идея этого модуля заключается в том, что синтаксическое перемещение не может «перепрыгивать» слишком много структурных границ за один шаг. Это объясняет, почему некоторые предложения звучат грамматически плохо, хотя по смыслу они понятны носителям языка.

Теория ограничения показывает, что грамматика не просто порождает структуры, она достаточно жестко ограничивает возможные операции. Эти ограничения универсальны, формализуемы и не могут быть выведены из семантики или прагматики предложения. И это еще один аргумент, который выдвигается в пользу врожденной языковой способности.

Итак, основная идея теории ограничений заключается в том, что возможные перемещения составляющих являются локальными, т.е. нельзя «перепрыгивать» через определенные узлы и барьеры. Вспомним, что в теории управления и связывания есть единственный принцип: «передвинь α», т.е. переместить можно любой элемент α в любую позицию, но грамматика ограничивает, что именно и куда можно перемещать. Иными словами, сама операция является максимально общей, а «плохие» случаи отсекаются независимыми принципами (теорией связывания, теорией падежа, тета-теорией и др.). Теория ограничений отвечает на вопросы, откуда нельзя осуществлять перемещения, через какие узлы нельзя «прыгать» и какие траектории запрещены.

Один из ключевых принципов – принцип прилегания – заключается в том, что перемещение не может пересекать более одного ограничивающего узла за один шаг, оно должно быть локальным. Пошаговое перемещение можно проиллюстрировать простым примером: в предложении *Что ты сказал, что Маша купила __?* слово *что* связано со словом *купила*, однако находится далеко от него. При перемещении в позицию вопросительного слова *что* сначала выходит из придаточного предложения, затем занимает первую позицию в главном, при этом не теряя синтаксической связи с придаточным, из которого вышло.

Ограничения на перемещение часто проявляются в виде так называемых островных ограничений, описанных в диссертации Дж. Росса. Однако если в работе Росса острова – это наблюдательные обобщения («из этих конкретных структур перемещение невозможно»), то в теории ограничений острова перестают быть отдельны-

ми правилами и выводятся из более общего принципа – принципа прилегания. Например, в соответствии с ограничением комплексной NP (complex NP constraint), нельзя перемещать составляющую, которая является компонентом придаточного внутри NP: **What did you hear [the rumour [that John bought __]]*? – переместить *what* из придаточного *that*-clause внутри NP «*the rumour*» – неграмматично. Еще один пример острова – остров сентенциального подлежащего (subject island): предложение **Who did [pictures of __] annoy Mary?* неграмматично.

Узлы, которые при перемещении запрещают составляющим пересекать более одного узла между исходной и конечной позицией, называются ограничивающими. Такими ограничителями внутри предложения могут быть другие предложения, именные группы, вопросительные конструкции, обстоятельственные придаточные. Например, в английском языке при перемещении вопросительного слова оно не может пересечь более **одного** такого узла между исходной и конечной позицией. Поэтому перемещение часто должно быть **циклическим**: элемент сначала перемещается в спецификатор ближайшего CP, затем выше и т.д. Это объясняет, почему некоторые передвижения разрешены (движение между соседними CP), а более «дальние прыжки» – нет. Метафорически принцип прилегания можно сравнить с домом, где комнаты – это клаузы в составе сложного предложения, двери – это допустимые места для выхода, а стены – жесткие границы: можно выйти через дверь, но нельзя проломить стену. Так же, как стены дома не дают перемещать в пространстве что угодно и куда угодно, грамматика жестко ограничивает расстояние, на которые могут перемещаться составляющие, и структуру зависимостей.

Позже Хомский развивает идею барьеров – более сложную систему, согласно которой узел является барьером для управления/перемещения, если он:

– определенным образом «замыкает» домен,

– сам относится к управляющей категории.

Барьер – это узел, через который нельзя «управлять», или нельзя «лицензировать» след, или он «закрывает» цикл перемещения. Идея в том, чтобы объяснить, почему некоторые CP или NP могут или не могут быть «прозрачным» для перемещения и почему некоторые вложенные конструкции «пропускают» перемещения, а другие – нет.

Позиция передвинутой составляющей не уничтожается: на ее месте остается фонологически пустая категория, которую называют **след** (trace), сокращенно – t. Например, остается след при перемещении вопросительного слова или поверхностного подлежащего при образовании страдательного залога. Теория следов (Trace Theory) появилась в 1970-е годы и привела к открытию Принципа пустой категории: след, будучи пустой категорией, должен быть «должным образом управляем»: каждый след должен быть управляем либо лексически, либо антецедентно.

Правильное перемещение оставляет след t_i, который получает падеж через управление, либо лицензируется (ECP) через управление в соответствии с принципом пустой категории. Если перемещение «перепрыгнуло барьер» или нарушило принцип прилегания, то след оказывается неправильно управляемым, а если нарушен принцип пустой категории, то предложение неграмматично.

Таким образом, теория ограничений использует общий принцип локальности: грамматические зависимости (связывание, управление, перемещение) локальны и ограничены структурой.

Теория ограничений позволила перейти от идеи трансформаций к универсальным ограничениям. Если ранее акцент был на списке трансформаций и их специфике для каждого языка, то в теории ограничений одна универсальная трансформация «передвинь α» дополняется универсальными ограничениями, что делает грамматическое описание более экономным и когнитивно реалистичным.

3. *Теория управления* (Government Theory) – это модуль, который определяет отношение между вершиной и ее зависимыми внутри составляющей. Проще говоря, в этом модуле объясняется, как одни элементы синтаксической структуры «контролируют» другие:

где приписывается падеж, где возможны следы, как работает локальность синтаксических зависимостей.

Приписывание падежа связано с идеей о том, что падеж – это не морфологическое, а синтаксическое явление. Например, в русском языке переходный глагол управляет прямым дополнением и приписывает ему винительный падеж, например, *Маша читает книгу*. Аналогичная ситуация с предлогами: предлог управляет своим объектом и приписывает ему падеж, например, *Маша говорит о книге*.

Лицензирование следов и пустых категорий основано на идее о том, что когда какая-либо составляющая перемещается, в ее исходной позиции остается след (t). Этот след не может быть где угодно: он должен быть лицензирован, например: *Which book did Mary buy* [t]?

Наконец, объяснение локальности также дается через понятие управления: это синтаксическое отношение позволяет определить локальность формально, а не «на глаз».

В теории управления и связывания управление определяется следующим образом:

Управление – это структурное влияние вершины на зависимые компоненты составляющей, т.е. ситуация, когда один элемент в предложении определяет форму или допустимость другого. В теории управления и связывания X управляет Y, если:

1) X является вершиной (обычно X^0);

2) X с-командует Y (т.е. X структурно доминирует над Y);

3) между X и Y нет жестких барьеров;

4) Y находится в области (домене) X.

Управление может быть лексическим или антецедентным. Лексическое управление – это ситуации, в которых конкретное слово (вершина) требует определенной формы у зависимого слова, например, когда предлог определяет падеж существительного: *говорить о книге, говорить с другом*. Антецедентное управление – это случаи, когда форма или интерпретация элемента зависит не от конкретного слова, а от другого элемента в предложении, с которым он связан

по смыслу. Антецедентное управление наблюдается, когда перемещенный элемент (например, вопросительное слово) управляет своим следом через с-командование. Другой вариант антецедентного управления – местоимения: например, в предложении *Маша купила себе новую книгу* местоимение *себе* соотносится с *Машей*, потому что это – ближайший возможный антецедент. А вот в предложении *Маша сказала, что Катя купила себе новую книгу* местоимение *себе* соотносится уже с Катей по тому же самому принципу.

Таким образом, теория управления – это модуль, который отвечает на вопрос, какие элементы, где и на каком расстоянии могут «разрешать» существование и определять форму других элементов в предложении.

4. Четвертый модуль теории управления и связывания – это *теория падежа* (Case Theory). Она относится к абстрактному (структурному) и морфологическому падежному управлению.

В теории управления и связывания есть несколько общих допущений о том, как должны функционировать именные группы: каждый именной элемент (NP/DP) в глубинной структуре должен получить падеж (Case). Если NP не получает падеж, то конструкция неграмматична.

Падеж – это не только морфология (Nom, Acc, Dat), а абстрактная синтаксическая категория. Например, в русском и немецком языках абстрактный падеж выражается как реальный морфологический падеж. В английском языке морфологически падежи не выражены, но падеж в глубинной структуре все равно «есть». Синтаксически именные группы должны быть в таких позициях, в которых они могут получить падеж от некоторой вершины. Отсюда вытекает, что движется не что угодно, а в первую очередь NP/DP, чтобы попасть в позицию, где она может получить падеж.

Важным принципом этого модуля является падежный фильтр: если у именной группы нет абстрактного падежа, она недопустима на уровне поверхностной структуры. Падежный фильтр запрещает «лишние» именные группы, заставляет элементы двигаться и объ-

ясняет, почему некоторые синтаксические позиции «опасны» для именных групп.

Падеж присваивают вершины, которые синтаксически управляют именными группами и обладают «силой» для приписывания падежа определенного вида. Обычно такими вершинами являются:

- T(ense)/INFL приписывает именительный (Nominative Case) субъекту;
- V приписывает аккузатив (Accusative Case) объекту;
- P приписывает косвенный (Oblique Case) объекту;
- иногда вершины N, A могут приписывать генитив или другие падежи в некоторых языках.

Различается два типа падежей: структурный и лексический. Структурный падеж зависит от места, которое именная группа занимает в предложении, а не от значения конкретного слова. Если поменять структуру предложения, падеж может измениться, но смысл останется тем же. Основными структурными падежами являются именительный (для подлежащего) и винительный (для прямого дополнения). Например, в паре предложений *Маша читает книгу* и *Книга была прочитана Машей* падеж существительного *книга* меняется, поскольку именная группа меняет свою позицию в предложении. Именно структурный падеж часто заставляет именные группы передвигаться.

Лексический падеж задается конкретным словом, например, глаголом, прилагательным или предлогом (*бояться темноты, помогать другу, гордиться дочерью*). Этот тип падежа не зависит от позиции и не меняется при перестройке предложения.

Структурный и лексический падежи тесно связаны с падежным фильтром: структурный падеж необходимо «получить». Если его нет, то именная группа должна передвинуться. Лексический падеж, задаваемый конкретным словом, является постоянным и в передвижении именной группы ради падежа нет необходимости.

5. Пятый модуль теории управления и связывания – это *тета-теория* (Theta-Theory или Θ-theory): она описывает тематические (= семантические) отношения между глаголом или другим предикатом и его аргументами (актантами), т. е. валентность. По сути, тета-теория – это «семантический скелет» синтаксиса в теории управления и связывания. Основная идея тета-теории заключается в том, что структура предложения должна отражать семантическую структуру предиката.

У каждого предиката (обычно глагола, но также существительных, прилагательных, предлогов) есть набор участников ситуации, т.е. аргументы; каждый аргумент выполняет определенную роль, или Θ-роль (theta-role).

Тета-теория описывает, какие Θ-роли есть у данного предиката (его «аргументную структуру»), как эти Θ-роли назначаются синтаксическим позициям и какие структуры запрещены, если Θ-роли нарушены.

Θ-роль (theta-role) – это абстрактная семантическая роль, которую предикат (обычно глагол) «выдает» своим аргументам.

Типичные Θ-роли – это:

- агенс (agent) – тот, кто действует, например, «*Маша* открыла дверь».
- тема / пациенс (theme / patient) – тот, кто затронут или с кем происходит изменение, например, «Маша открыла *дверь*»;
- экспериенцер (experiencer) – тот, кто испытывает состояние / воспринимает нечто, например, «*Маше* нравятся пирожки»;
- адресат/цель (goal), например, «Маша отправила письмо *другу*»;
- источник (source), например, «Маша убежала из *дома*»;
- место (location), например, «Маша живет в *городе*», и др.

Каждый предикат имеет аргументную структуру – набор Θ-ролей, которые он должен заполнить, чтобы предложение было грам-

матичным. Аргументную структуру часто записывают в виде θ-сетки (θ-grid). Например, для глагола «*дать*» Θ-сетка выглядит следующим образом:

дать: <agent, theme, goal>

В предложении Θ-сетка глагола «*дать*» может быть заполнена следующим образом: *Маша (agent) дала книгу (theme) Пете (goal)*.

Для глагола «*спать*» Θ-сетка может быть формализована как

спать: <experiencer / theme>

Эти Θ-роли реализуются в предложении *Маша спит*.

Глагол «*казаться*» требует следующих θ-ролей:

казаться: <theme, experiencer>

Пример предложения, в котором реализуются эти Θ-роли – *Маше (experiencer) кажется, [что Петя прав] (theme)*.

У существительных и прилагательных тоже могут быть Θ-сетки, например, у существительного *любовь* Θ-сетка будет включать следующие Θ-роли: любовь: <Experiencer, Theme>. Эти роли реализуются в словосочетании «*любовь к музыке*».

Согласно тета-теории, предикат обязан заполнить все свои Θ-роли, и каждая из них должна быть связана с некоторой синтаксической позицией.

Ключевой принцип – так называемый тета-критерий – звучит следующим образом: у каждого аргумента должна быть ровно одна Θ-роль, и у каждой Θ-роли должен быть ровно один аргумент. Если этот принцип нарушается, предложение становится неграмматичным. Нарушение требования «одна Θ-роль – один аргумент» иллюстрирует неграмматичное высказывание **Маша подарила Пете*: глагол «подарить» требует три Θ-роли: Agent, Theme, Goal, но в предложении заняты позиции только двух аргументов: «Маша» (agent) и «Пете» (goal), а theme отсутствует. Поскольку Θ-роль не реализована, Θ-критерий оказывается нарушенным.

Если аргументы – это обязательные участники ситуации, то адъюнкты (обстоятельства, добавочные модификаторы) обязательными участниками не являются. Они не получают Θ-ролей от конкретного глагола и выражают дополнительные параметры: время, место, способ, причину. Например, в предложении *Маша читает книгу в парке по утрам* аргументами глагола *читать* являются *Маша* (agent) и *книгу* (theme). Адъюнктами являются *в парке* (обстоятельство места) и *по утрам* (обстоятельство времени).

В тета-теории контролируются только аргументы, а адъюнкты могут добавляться почти свободно, не нарушая Θ-критерий.

В тета-теории сформулирован Принцип проекции (Projection Principle), который связывает лексическое значение слов с синтаксической структурой предложения. Он отвечает на вопрос, почему в предложении должны присутствовать именно те участники, которые «требует» слово, и почему они стоят в определенных местах.

Принцип проекции формулируется следующим образом: лексические свойства (включая Θ-сетку) предикатов должны быть сохранены на всех уровнях синтаксической структуры. Это означает, что если глагол в лексиконе имеет Θ-сетку <Agent, Theme, Goal>, то синтаксическая структура обязана отразить это и в глубинной, и в поверхностной структуре. Важно, что в поверхностной структуре они могут либо оставаться в своих базовых позициях, либо они могут перемещаться (и в таком случае появляется след), но Θ-роль аргумента по-прежнему существует. Например, в паре предложений *Маша подарила Пете книгу* и *Книга была подарена Пете (Машей)* в глубинной структуре есть все три аргумента: *Маша* (agent), *книга* (theme), *Пете* (goal). В поверхностной структуре субъект может быть опущен или выражен обособленным оборотом, объект может подняться в позицию субъекта и т.п. Но, согласно тета-теории, каждая Θ-роль все равно связана с некоторой синтаксической позицией (NP или след).

6. Теория связывания (Binding Theory) связывает такие элементы, как прономиналы, анафоры и имена с их антецедентами (рефе-

рентами). Она отвечает на вопрос, кто на кого может ссылаться в предложении, т.е. кто может быть антецедентом для местоимения/анафоры?

Рассмотрим два примера:

- **Маша*$_1$ *любит ее*$_1$.
- *Маша*$_1$ *любит себя*$_1$.

Теория связывания объясняет, почему в одной и той же позиции допустимо *себя*, но плохо *ее* с тем же антецедентом.

В классической теории связывания все именные группы делят на три класса: анафоры, местоимения, R-выражения.

Анафоры – это элементы, которые обязаны иметь локальный антецедент. Например, в русском языке – это местоимения *себя, друг друга,* в английском – *himself / herself, each other*. В предложении *Маша*$_1$ *видит себя*$_1$ *в зеркале* имя *Маша* является антецедентом местоимения *себя*, которое в данном контексте является анафором. Антецедент и анафор должны находиться в отношениях кореферентности, т.е. отсылать к одному и тому же объекту действительности. Например, в предложении *Иван говорит о себе* местоимение *себе* кореферентно слову *Иван*, а в предложении **Иван сказал, что газеты пишут о себе* оно не может иметь слово *Иван* в качестве антецедента.

Второй класс именных групп – это местоимения (прономиналы), например, *я, меня, тебе, нашего, их, ее* и т.д. Они не обязаны иметь антецедент, но если он есть, то он не должен быть слишком близко. Например, в предложении *Маша*$_1$ *думает, что Петя*$_2$ *любит ее*$_1$ антецедентом местоимения ее является имя Маша и в синтаксической структуре антецедент и прономинал находятся достаточно далеко друг от друга.

Третий класс именных групп – это так называемые R-выражения (референциальные выражения), или имена, прямо называющие предмет в окружающем мире, например, *Наташа, яркий цветок, студент, моя подруга.* Такие именные группы не могут быть связаны вообще.

Синтаксические позиции всех типов именных групп определяются тремя принципами:

Принцип A: анафор должен быть связан антецедентом в пределах минимальной категории (т.е. составляющей), в которой он находится.

Принцип B: прономинал должен быть свободен (не связан никаким антецедентом) в пределах минимальной категории, в которой он находится. При этом местоимение может отсылать к антецеденту, который находится вне предложения.

Принцип C: R-выражение должно быть везде свободно (т.е. не связано никаким антецедентом) независимо от своей позиции.

Обобщая данные принципы, мы можем сказать, что Теория связывания утверждает, что один элемент может быть кореферентен другому, только если они находятся в соответствующих структурных позициях по отношению друг к другу, и при этом соблюдается отношение с-командования.

Итог: основу теории управления и связывания образуют иерархические отношения. Основным понятием является иерархически-структурное понятие с-команды. Другим важным понятием является понятие близости в дереве составляющих. Получается, что Теория управления и связывания исследует сложное соотношение между иерархическими и линейными факторами в языковой компетенции.

§ 9. Минималистская программа

Теория управления и связывания содержала много модулей (управление, связывание, падеж, X-bar и т.д.) и много специальных принципов и фильтров. В результате язык выглядел как очень сложная система с грамматикой, которая была в определенной степени «перегружена» различными механизмами.

В 1993 году Н. Хомский опубликовал статью «Минималистская программа лингвистической теории», где попытался ответить на во-

прос, можно ли объяснить язык с помощью минимального набора операций (отсюда и название – минимализм).

Минимализм – это не теория языка, а именно программа дальнейших лингвистических исследований, которая задает вопросы, какие минимальные принципы действительно необходимы для порождения бесконечного разнообразия высказываний, что можно объяснить через интерфейсы и что следует исключить. Минималистская программа основана на идее о том, что язык – это очень простой вычислительный механизм, который позволяет строить структуры, сложные ровно настолько, чтобы их можно было произнести (интерфейс PF – фонологическая форма) и интерпретировать по смыслу (интерфейс LF – логическая форма). Фонологическая и логическая формы позволяют языку связывать звук (форму) и смысл. Задача грамматики – обеспечить оптимальное, т.е. самое простое и эффективное соединение фонологической и логической формы. Для этого языковой аппарат включает две подсистемы: лексикон, в котором хранятся слова и их грамматические признаки (например, падеж, число, лицо) и семантические требования, а также синтаксическую вычислительную систему. Глубинная и поверхностная структуры как самостоятельные уровни высказывания в минималистской программе отсутствуют.

Синтаксическая вычислительная система выполняет всего две базовые операции: Merge и Move. Merge – это операция соединения двух элементов, например, слов или уже построенных групп. В результате этой операции получается новая, более крупная структура, например:

Merge (*читать, книгу*) → [*читать книгу*]

Merge (*Маша*, [*читать книгу*]) → [*Маша читает книгу*].

Так шаг за шагом из дискретных элементов строится иерархическая структура предложения; все многообразие синтаксиса сводится к единственной рекурсивной операции Merge.

Операция Move, позднее названная Inner Merge, т.е. внутреннее слияние, берет элементы внутри структуры и соединяет их с бо-

лее высокой позицией. Если раньше за перемещение слов отвечали трансформации (например, в теории управления и связывания использовалась вопросительная трансформация, чтобы в вопросе *«Что ты видишь?»* слово *«что»* переместилось в начальную позицию из позиции после *«видишь», оставив там след*), в Минимализме движение – это операция, которая происходит только при необходимости и на минимально возможное расстояние. Движение связано с принципом «последнего средства» (Last Resort): передвижения допустимы только тогда, когда без них деривация не может быть успешно завершена. Принцип «последнего средства», в свою очередь, тесно связан с принципом экономии (или принципом минимальности). Принцип экономии – это главный «регулировщик» в минималистской программе. Согласно ему, из нескольких возможных путей построения предложения язык всегда выберет самый короткий, самый экономный. Грамматика стремится к оптимальности точно так же, как физическая система стремится к состоянию с минимальной энергией, поэтому лишние шаги и лишние перемещения запрещены. Экономия действует не как отдельное правило, а как базовый принцип, ограничивающий работу всей грамматической системы.

Таким образом, минимализм рассматривает язык как максимально простой вычислительный механизм, который можно сравнить с конвейером. Этот механизм использует минимальный набор операций (Merge и Move) и мотивируется требованиями интерфейсов PF и LF с целью объяснить свойства языка через общие принципы экономии и проверки признаков. Обобщая, можно сказать, что история развития генеративной грамматики прошла путь существенных изменений: как пишет Дж. Бейлин, «… от ее первоначальной теории осталась лишь фундаментальная концепция о врожденной языковой способности человека с независимыми внутренними закономерностями».[1] Минима-

[1] *Бейлин Дж.* Краткая история генеративной грамматики // Современная американская лингвистика : фундаментальные направления / под ред. А.А. Кибрика, И.М. Кобозевой и И.А. Секериной. Изд. 2-е, испр. и доп. Москва: Едиториал УРСС, 2002. С. 13.

лизм – это попытка посмотреть на язык не как на набор правил (как обычно представляют грамматику, например, в школьном учебнике), а как на идеально отлаженный природный механизм. Этот механизм работает по принципу «максимум результата при минимуме усилий». Все, что мы говорим и слышим, – это результат работы одной базовой операции соединения, которая управляется внутренней «проверкой на исправность» и стремлением к минимальным затратам.

§ 10. Вершинная грамматика составляющих

Вершинная грамматика составляющих (Head-Driven Phrase Structure Grammar) – одна из теорий формального синтаксиса, которая в последние десятилетия стремится конкурировать с генеративной грамматикой. Авторы теории – К. Поллард и А. Саг.

Одна из важнейших идей, отличающих вершинную грамматику составляющих (ВГС) от генеративной грамматики, заключается в полном отказе от трансформационных правил: все типы предложений, в том числе и те, которые в генеративной теории рассматриваются как результат трансформаций, в ВГС описываются как системы типизированных иерархических признаковых структур (матриц), где вершина диктует свойства всей конструкции через механизм унификации. При таком подходе синтаксис становится не построением дерева на основе правил, а «сборкой» объектов с совместимыми признаками. Вершинная грамматика составляющих – это декларативная модель: грамматика описывает построение высказываний с точки зрения их формальной правильности, а не как процесс перехода от глубинной формы к поверхностной.

Сторонники ВГС исходят из того, что любое предложение является структурно упорядоченным. В каждой непосредственно составляющей выделяется вершина, определяющая свойства всей составляющей: в предложении не просто «есть NP, VP или PP», но «NP с вершиной N», «VP с вершиной V» и т.д. Поэтому в ВГС дерево

Во-первых, существует несколько вариантов компьютерной реализации этой модели. Для усиления эмпирической базы описания семантики пытаются делать на основе корпусного анализа. Вообще, как и многие другие генеративные модели, модель Пустейовского относится к так называемым *top-down* моделям: формализация и построение теории в них проводится на относительно небольшом объеме реального языкового материала. Проверка теории на более обширных данных показала (например, в исследованиях А. Килгариффа), что генеративный лексикон практически не справляется с фразеологизмами. Для их описания необходимо расширять существующие схемы.

Еще один вариант развития генеративного лексикона – введение лексических правил (Т. Бриско). Это позволит создать более экономные описания случаев регулярной полисемии, например, для перехода между исчисляемыми и неисчисляемыми вариантами употребления существительных (*поймать рыбу – есть рыбу*). В данном случае правило может указывать на возможность такого перехода, причем, если в модели Пустейовского этот переход надо прописывать для каждого случая, то правило дает возможность описать весь класс таких употреблений.

Еще один аспект – возможность формального описания не только метонимий, но и метафорических переносов. Ашер и Ласкаридес предложили систему лексических правил для описаний метафор. Их описание глаголов движения показывает, что метафорические переносы тоже можно систематизировать. Например, глагол *входить* требует в прямом значении перемещения внутрь актанта с семантикой трехмерного пространства. При метафорическом переносе существительное, занимающее эту позицию, должно предполагать «пространственную» интерпретацию. Чувства и состояния позволяют метафорически представлять их как пространства, поскольку они длятся во времени, а время и пространство тесно связаны в нашем сознании – это измерения. Поэтому можно сказать по-английски *to enter the crisis*. При метафорическом употреблении сохраня-

ется орфографический облик слова, его синтаксическое поведение и качественные характеристики (QUALIA). А вот семантический тип может быть любым, он может отличаться от исходного типа.

Суммируем достоинства генеративного лексикона. Это самая продвинутая формальная модель, основанная на идее компонентного анализа. Пустейовский и его сторонники делают попытку учесть контекстуальную гибкость лексического значения, причем задействуют для этого довольно сложные структуры. К достоинствам можно также отнести и желание учесть прагматические факторы, которые влияют на выбор значения многозначного слова. Тем не менее, проблема разграничения лингвистического и энциклопедического знания остается нерешенной (вряд ли вообще это возможно).

Есть и ряд проблем, за которые модель критикуют. Например, при сочетании предиката с аргументом по типу «принуждение» фраза *Sidney began a novel* интерпретируется как *Sidney began reading a novel*, поскольку в структуре значения существительного novel есть указание на назначение:

novel (x)
CONST = pages (z)
FORM = physobj (x)
TELIC = read (P,y,x)

Если мы возьмем существительное *sweater*, которое тоже обозначает физический объект, мы будем ожидать, что его назначение будет описываться функцией *to wear*. Однако вряд ли можно сказать *Sidney began a sweater* в значении *Sidney began to wear a sweater*.

Есть вопросы и относительно статуса свойств. Например, насколько характеристика «физический объект» очевидна и может считаться постоянной? Какова ее собственная семантика? Можем ли мы, отвлекаясь от лингвистической семантики, точно определить, что является физическим объектом, а что – нет (например, облака, огонь, интернет)? Такая же проблема возникает с правилами для метафорических переносов. Если мы утверждаем, что эмоции и состояния имеют измерения, это тоже метафорический перенос.

Получается, что попытка формализации наталкивается на те же проблемы, что и традиционная семантика.

В качестве иллюстрации посмотрим на описание значения существительного *sandwich*:

sandwich(x)
CONST = {bread,...}
FORMAL = **physform(x)**
TELIC = **eat(P,w,x)**
AGENTIVE = **make activity(z,x)**

Данная запись содержит информацию о характере действия (атрибут TELIC описывает действие как процесс P, происходящий между индивидом w и физическим объектом x). Более сложные типы значений описываются большим количеством признаков.

§ 5. Проект WordNet

Выше были представлены модели, в основе которых лежит идея компонентного анализа лексического значения. Существуют и другие подходы к моделированию семантики слова, например, подходы, основанные на идее лексико-семантических отношений. Эти модели тесно связаны с разработками в области компьютерной лингвистики: фактически они служат информационной базой для создания лексиконов, электронных словарей, пользователем которых часто бывает не человек, а компьютер. Далее мы посмотрим на принципы организации модели WordNet.

WordNet представляет собой практическое приложение, в котором моделируются семантические отношения между словами. Проект начался в 1985 году в Принстонском университете под руководством психолога и когнитивного лингвиста Джорджа Миллера. Изначально WordNet задумывался не как компьютерный словарь, а как модель организации лексикона в сознании человека.

Ключевой идеей WordNet является утверждение о том, что слова хранятся в нашей памяти в виде сети значений, связанных различ-

ными типами семантических отношений: синонимия, гипонимия, меронимия, антонимия, причинно-следственная связь.

В WordNet глаголы, существительные и прилагательные сгруппированы в семантические ряды (synsets). Семантические ряды – это наборы слов, близких по значению, например: *car, automobile, auto, vehicle*. Если слово имеет несколько значений, оно может входить в несколько семантических рядов.

WordNet разделен на четыре независимые подсети:

- существительные (nouns);
- глаголы (verbs);
- прилагательные (adjectives);
- наречия (adverbs).

Между частями речи почти нет связей, что отражает идею о разной организации лексики в ментальном лексиконе. Служебные части речи в базу не включены. Также в базе не прописаны синтагматические характеристики (сочетаемость).

Каждый семантический ряд включает список лемм, краткое определение, примеры употребления, ссылки на связанные семантические ряды. В WordNet жестко различаются значения слов. Например, описание слова *chair* выглядит следующим образом:

Noun

S: (n) **chair** (a seat for one person, with a support for the back) “he put his coat over the back of the chair and sat down”

S: (n) professorship, **chair** (the position of professor) “he was awarded an endowed chair in economics”

S: (n) president, chairman, chairwoman, **chair**, chairperson (the officer who presides at the meetings of an organization) “address your remarks to the chairperson”

S: (n) electric chair, **chair**, death chair, hot seat (an instrument of execution by electrocution; resembles an ordinary seat for one person) “the murderer was sentenced to die in the chair”

S: (n) **chair** (a particular seat in an orchestra) “he is second chair violin”

Verb

S: (v) **chair**, chairman (act or preside as chair, as of an academic department in a university) “She chaired the department for many years”

S: (v) moderate, **chair**, lead (preside over) “John moderated the discussion”

Для каждого значения представлены синонимические ряды, дефиниция и пример употребления. Пример слова *chair* показывает, что синонимия в данной модели понимается достаточно широко, поскольку в синонимические ряды включены не только синонимы, но и близкие по значению слова. Например, слова *chairman* и *chairwoman* вряд ли могут быть отнесены к синонимам, скорее, речь идет о производных словах.

Далее для каждого из значений мы можем посмотреть списки гипонимов и гиперонимов, а также отношение меронимии (слова, находящиеся в отношениях «целое – часть»). Для глаголов также можно посмотреть логические отношения «причина – следствие» и модель управления. Например, для глагола snore модель управления представлена в разделе sentence frame:

Verb

S: (v) **snore**, saw wood, saw logs (breathe noisily during one’s sleep) “she complained that her husband snores”

direct hypernym / inherited hypernym / sister term

entailment

S: (v) sleep, kip, slumber, log Z’s, catch some Z’s (be asleep)

derivationally related form

sentence frame

Somebody ----s

То, что WordNet описывает многочисленные семантические связи слов, делает эту базу данных удобным источником семантической информации для других компьютерных разработок. Проект WordNet демонстрирует, как лексическое значение может быть фор-

мализовано в виде сети отношений между словами в их различных значениях, что делает возможным систематическое описание семантики на уровне лексикона. Однако необходимо помнить о том, что лексические модели, подобные WordNet, описывают значение изолированных слов и устойчивых смысловых единиц и не решают задачу интерпретации значения целого высказывания. Переход от семантики слова к семантике предложения требует учета синтаксической структуры, квантификации, предикации и области действия, а также механизмов композиционного построения значения. Эти задачи становятся предметом формальных моделей семантики высказывания, рассматриваемых в следующем разделе.

§ 6. Формальные модели семантики высказывания

Моделируя языковую способность человека, лингвисты не могут обойти вопрос о том, как происходит понимание высказывания. Поскольку понимание – процесс ненаблюдаемый, моделирование становится важным методом описания этих процессов.

Для обозначения процесса понимания в лингвистическом моделировании часто пользуются термином *интерпретация*. В формальном моделировании интерпретация – это перевод высказывания с естественного языка на формальный язык. Использование формальных языков позволяет исследователю представить весь процесс интерпретации значения высказывания в явном виде.

Сложность формального моделирования семантики заключается в том, что методы формального моделирования могут применяться к семантической структуре высказывания со значительными ограничениями. Эти ограничения вызваны в первую очередь различиями между естественным и формальным языками. Тем не менее, методы и принципы формализации значения высказывания разрабатываются в рамках особого направления – *формальной семантики*.

Изначально формальная семантика развивалась в рамках логики, где она использовалась для интерпретации формальных языков

математики и логики. Однако постепенно стало ясно, что принципы формального семантического описания вполне приложимы и к высказываниям на естественном языке. Одним из первых эту идею высказал американский математик и философ Ричард Монтегю (1930-1971). Таким образом, основной целью формальной семантики является разработка моделей интерпретации значения высказываний на естественном языке с помощью формальных метаязыков.

Формальное моделирование семантики естественно-языковых выражений возможно, если в качестве исходного предположения мы принимаем постулат о том, что описание значения должно осуществляться «вне контекста», т.е. без учета конкретных условий использования определенного языкового выражения, интенций говорящего и других социокультурных особенностей, потенциально способных повлиять на интерпретацию того, что сказано или написано.

Формальная модель семантики естественного языка должна удовлетворять ряду требований:

- такая модель должна устанавливать соответствия между различными синтаксическими конструкциями естественного языка и их значениями;
- формальная семантическая модель должна снимать многозначность естественно-языковых выражений;
- эта модель должна объяснять, как соотносятся между собой значения различных по объему языковых элементов: слов, словосочетаний, предложений;
- формальная семантическая модель должна объяснять, как соотносятся между собой языковые выражения и объекты окружающего мира, т.е. каким образом с помощью естественного языка люди передают информацию о мире. Это требование также подразумевает, что семантическая модель должна объяснять, почему грамматически безупречные предложения могут быть оценены как бессмысленные.

Формальные семантические исследования сосредоточены вокруг двух взаимосвязанных проблем: первая касается способов представления значения высказывания, вторая – способов интерпретации семантики высказывания с опорой на его синтаксические составляющие. Таким образом, создание формальных семантических моделей предполагает:

а) разработку способов представления семантической информации т.е. метаязыков семантического описания;

б) поиск ответа на вопрос, по каким правилам формируется значение высказывания из составляющих его элементов.

Знакомство с формальными семантическими моделями высказываний мы начнем со способов формального представления семантики языковых единиц.

§ 7. Репрезентация семантики высказывания: проблема выбора метаязыка семантического описания

Создавая формальные семантические модели, исследователи исходят из того, что значение выражения естественного языка может быть записано с помощью формальных структур. Такая запись называется *репрезентацией* значения. Системы символов и правил записи репрезентаций являются *метаязыком* по отношению к выражениям естественного языка. Таким образом, семантический анализ в формальном моделировании представляет собой процесс создания репрезентаций и приписывание их выражениям естественного языка.

Для описания значения сложной структуры (словосочетания или высказывания) могут использоваться различные метаязыки. Например, в качестве метаязыка формального семантического описания часто используется логическая нотация. Также к распространенным способам представления значения относятся семантические сети, фреймы, диаграммы концептуальной зависимости.

Посмотрим, как с помощью различных метаязыков можно создать репрезентации значения высказывания «*У Джека есть собака*»:

1. На языке логики предикатов первого порядка значение данного высказывания будет выглядеть так:

$$\exists x\ (\text{dog}(x) \wedge \text{HAS}\ (\text{Jack}, x)),$$

т.е. существует такой объект x, что x – собака, и Джек имеет x.

Удобство представления значения на языке логики заключается в том, что снимается многозначность высказывания; кроме того, запись на метаязыке требует эксплицитности, т.е. однозначного указания на денотат высказывания, следовательно, отсекается все то, что делает значение высказывания на естественном языке расплывчатым (анафоры, дейктические единицы языка и др.). Еще одно достоинство логической нотации заключается в ее способности эксплицитно представлять не только пропозиции, но и отражать синтаксическую структуру выказывания.

2. Семантическая сеть для этого высказывания представляет собой граф, в узлах которого находятся участники ситуации (Джек и собака), а дуги отображают отношения между ними (в данном случае – отношение обладания):

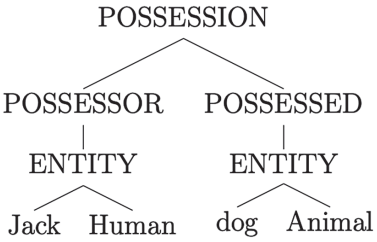


Рис. 9.3. Семантическая сеть для высказывания *Jack has got a dog*

3. Для представления структуры высказывания используются фреймы. В самом общем виде фрейм можно определить как структуру представления знания о некоторой ситуации. Формальное представление фрейма – это структура признаков, которую можно изобразить в виде матрицы:

POSSESSION

$$\begin{bmatrix} \text{Possessor} & \textit{Jack} \\ \text{Possessed} & \textit{dog} \end{bmatrix}$$

Фрейм может усложняться за счет включения другого фрейма. Например, для нашего высказывания мы могли бы представить наше знание о собаке в виде фрейма, указав, что это живое существо, млекопитающее и т.д.

4. Диаграмма концептуальной зависимости показывает, в каких взаимоотношениях находятся участники ситуации, которую описывает высказывание. Такой способ представления структуры высказывания несет в себе информацию о типе ситуации (например, обладание) и о том, к каким категориям принадлежат участники ситуации. Для нашего простого примера диаграмма концептуальной зависимости также будет выглядеть достаточно просто:

$$\textit{Jack} \xrightarrow{\textit{possession}} \textit{dog}$$

Недостатком диаграммы концептуальной зависимости является неоднородность связей и отношений между участниками ситуации.

Очевидно, что эти способы репрезентации значения высказывания значительно отличаются друг от друга. Тем не менее, их объединяет идея о том, что значение выражения можно представить в виде структуры, включающей в себя символы, объединенные по определенным правилам.

Важно помнить, что все способы репрезентации значения языкового выражения также являются способами представления некоторой ситуации. Такая двойственность позволяет связывать языковые структуры, окружающий мир и наши представления о нем.

Рассмотрим ряд моделей, объектом которых является семантика высказывания.

§ 8. Генеративная семантика

Генеративная семантика возникла в конце 1960-х гг. как критика генеративной грамматики Н. Хомского. Основными представителями генеративной семантики были лингвисты Джордж Лакофф, Джон Роберт Росс, Джеймс Макколи, Пол Постал. Основная идея данной теории состоит в том, что глубинные структуры языка являются по своей сути не синтаксическими, а семантическими, т.е. структура предложения возникает не из абстрактного синтаксического представления, а из логико-семантической формы высказывания. Именно эта логико-семантическая форма, а не синтаксическое представление, является глубинной структурой высказывания. Например, для предложения «Иван открыл дверь ключом» глубинная структура хранит роли (*агенс, объект, инструмент*). Результатом такого подхода является утверждение о том, что синтаксис следует за семантикой и выводится из нее, т.е. поверхностная форма (конкретное предложение) появляется уже после применения трансформаций к семантическому представлению.

Если с точки зрения Стандартной теории генеративной грамматики порождение высказывания шло от глубинной синтаксической структуры через трансформации к поверхностной структуре, которая затем подвергалась семантической интерпретации, то в генеративной семантике отправной точкой для порождения высказывания была семантическая структура, которая подвергалась необходимым трансформациям, и в результате создавалась поверхностная структура. Важно, что глубинная структура была не синтаксической, а логико-семантической по своей природе.

Глубинная логико-семантическая структура похожа на логическую формулу. Она включает предикаты, аргументы, кванторы и логические отношения, например, глубинная структура для предложения *Mary broke the vase* выглядит следующим образом:

CAUSE (MARY, BECOME (BROKEN (VASE)))

Для предложения *John persuaded Mary to leave* глубинная структура включает следующие компоненты:

CAUSE (JOHN, BELIEVE (MARY, SHOULD (MARY, LEAVE))).

Что касается поверхностных структур, то в генеративной семантике все они являются результатами синтаксических трансформаций. Такой подход привел к тому, что появились десятки типов передвижений, сложные деривации для простых предложений и абстрактные элементы, которых нет в поверхностной структуре. Это сделало теорию мощной, но практически неконтролируемой.

В генеративной семантике лексикон был минимизирован, поскольку слова считались поверхностной реализацией более глубоких смыслов, например:

buy = CAUSE + HAVE
teach = CAUSE + KNOW
kill = CAUSE + DIE.

К сильным сторонам генеративной семантики относится идея о приоритете семантики над синтаксисом. По сути, генеративная семантика – это попытка сказать, что язык начинается со смысла, а не с формы. Эта теория вскрыла сложность значения «простых» глаголов и повлияла на дальнейшее развитие когнитивной лингвистики, фреймовой семантики и теории прототипов. Однако существенными недостатками этой модели были ее нефальсифицируемость (можно было придумать трансформацию почти для всего), чрезмерная сложность и размытость границ синтаксиса и семантики.

§ 9. Модель «Смысл ↔ Текст»

Модель «Смысл ↔ Текст» была разработана И.А. Мельчуком и А.К. Жолковским при участии Ю.Д. Апресяна в 1960–1980-е годы на стыке структурной лингвистики, формальных моделей языка, задач машинного перевода и автоматической обработки текста. Те-

ория базируется на идее о том, что язык – это механизм преобразования смыслов в тексты и текстов в смыслы. Язык описывается как многоуровневая система представлений, в которой значение должно задаваться явно и формально, а переходы между уровнями – осуществляться по строгим правилам.

Каждый уровень имеет свои единицы и свои правила их комбинирования. При движении от смысла к тексту первым уровнем является семантическое представление (глубинно-семантический уровень). На этом уровне используются семантические множители и синтаксис, близкий к логическим исчислениям: семантическое представление описывается в терминах предикатов, аргументов, сирконстант. Например, смысл «X дал Z Y-у» может быть выражен формулой CAUSE (X, HAVE (Y, Z)).

На глубинно-синтаксическом уровне основными единицами являются синтаксемы – слова в их грамматических формах, связанные синтаксическими отношениями, а не линейным порядком. Вместо линейного порядка есть дерево зависимостей, где в узлах содержатся леммы с граммемами, а ребра отражают синтаксические отношения – валентности, например, субъект, объект, инструмент и т.д.

На поверхностно-синтаксическом уровне появляется линейный порядок слов, служебные слова, синтаксические конструкции. Дерево зависимостей преобразуется в предложение с учетом грамматических ограничений.

Следующий уровень – это морфологическое представление, где слова разбиваются на морфемы и определяется порядок аффиксов.

На фонологическом уровне определяется звуковая (или фонемная) структура текста с учетом правил просодии.

Между каждыми двумя соседними уровнями существуют строго формализованные правила перехода (соответствия).

Особую роль в модели «Смысл ↔ Текст» играет толково-комбинаторный словарь (ТКС). Если уровни можно сравнить со сборочным конвейером, то ТКС – это склад деталей и инструкций по

сборке. Структура словарной статьи отличается от традиционного словаря. В ней содержится:

- толкование на специальном семантическом языке (через семантические примитивы и более простые слова);
- управление и валентности, т.е. полный список семантических и синтаксических актантов. Например, для глагола *«давать»*: кто дает (агенс), что дает (объект), кому дает (адресат), на каких условиях и т.д.;
- лексические функции (ЛФ) – стандартные способы выражения типовых смыслов, связанных с данным словом.

Вот несколько примеров лексических функций:

- Magn (интенсификатор): Magn(дождь) = проливной, сильный.
- Syn (синоним): Syn(смотреть) = глядеть.
- S_{loc} (стандартное место): S_{loc}(театр) = сцена.
- Oper_1 (глагол-«оператор» для первого актанта): Oper_1(совет) = давать (дать совет).
- Real_1 (глагол реализации): Real_1(приказ) = отдать (отдать приказ).

Лексические функции необходимы для формализации лексической сочетаемости и систематизации фразеологии.

Теория «Смысл ↔ Текст» рассматривает язык как формальный механизм преобразования между смыслом и текстом, вводя многоуровневую архитектуру представлений и детализированное описание лексики. Она остается одной из самых строгих и практически ориентированных моделей формальной семантики и лексикологии. Метод ТКС лег в основу «Нового объяснительного словаря синонимов русского языка» Ю.Д. Апресяна. Идеи, сформулированные в модели «Смысл ↔ Текст», использовались в системах машинного

перевода ЭТАП; также они применяются в автоматическом семантическом анализе, в онтологиях.

К недостаткам модели относят сложность и громоздкость описания – полное формальное описание слова в ТКС включает в себя семантическую структуру, набор семантических актантов, валентность и способы ее реализации, ограничения сочетаемости, лексические функции, синтаксические и морфологические параметры. В других теориях значительная часть этой информации может предполагаться по умолчанию или определяться работой правил. Кроме того, классическая теория «Смысл ↔ Текст» фокусировалась на предложении-высказывании. Вопросы связности текста, инференции, коммуникативной структуры (темы и ремы) были разработаны позже. В модели также не была решена проблема «стартового смысла»: откуда берется исходное семантическое представление? Теория описывает преобразование, но не порождение смысла как когнитивного акта.

Несмотря на эти недостатки, модель «Смысл ↔ Текст» показывает, как неразрывно связаны лексика, синтаксис, морфология и семантика, и дает мощные инструменты для анализа (валентности, ЛФ, деревья зависимостей), которые применимы даже вне рамок самой теории.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под формальной семантикой и чем она отличается от описательной семантики?
2. Какие задачи формальной семантики наиболее значимы для прикладной лингвистики?
3. В чем заключается основная идея компонентного анализа значения слова?
4. Как компонентный анализ применяется для описания лексико-семантических полей?

5. Какова цель теории семантических признаков Катца и Фодора?

6. Как в теории семантических признаков Катца и Фодора описывается значение лексической единицы?

7. Какие семантические явления стремились объяснить Катц и Фодор?

8. Почему теория Катца–Фодора считается важной, несмотря на ее ограниченное применение сегодня?

9. Как в генеративной семантике осуществляется семантическая декомпозиция глаголов?

10. Какие идеи генеративной семантики оказали влияние на последующие теории?

11. В чем состоит основная идея генеративного лексикона Пустейовского?

12. Почему значение слова в генеративном лексиконе считается динамическим?

13. Как генеративный лексикон объясняет полисемию и контекстуальные сдвиги значения?

14. В чем преимущество генеративного лексикона по сравнению с более ранними лексическими моделями?

15. Какова цель проекта WordNet и как в нем представлено значение слов?

16. Какие типы семантических отношений используются в WordNet?

17. В чем практическая ценность WordNet для компьютерной прикладной лингвистики?

18. В чем заключается ключевая идея теории «Смысл ↔ Текст» и какое место она занимает среди формальных моделей семантики?

19. В чем состоит принцип многоуровневого представления языка в модели «Смысл ↔ Текст»?

Практические задания

1. Опишите лексико-семантическое поле глаголов движения (*идти, бежать, ползти, лететь*) с точки зрения компонентного анализа.

2. Представьте значение слова *врач* в виде набора семантических признаков. Укажите обязательные и дифференциальные признаки. Объясните, каким образом эта модель позволяет различать значения слов *врач, медсестра* и *фельдшер* и почему предложение *Этот врач лечит камни* считается семантически аномальным.

3. Объясните, почему предложение *Камень убедил мальчика уйти* считается семантически аномальным в рамках теории семантических признаков или генеративной семантики.

4. Выполните семантическую декомпозицию глагола *напугать* в терминах каузации и изменения состояния.

5. Постройте глубинную семантическую структуру для предложений:

а) *Анна открыла дверь.*

б) *Дверь открылась.*

Сравните получившиеся структуры.

6. Опишите слово *книга* в терминах генеративного лексикона Пустейовского.

7. Покажите, как меняется значение слова *газета* в предложениях:

а) *Я купил газету*

б) *Газета раскритиковала правительство*

Объясните это в рамках генеративного лексикона.

8. Запишите семантическое представление (SemR) для высказывания *Ученый передал данные коллеге.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алпатов В.М. История лингвистических учений. – Москва : Языки славянской культуры, 2005. – 368 с.

2. Апресян Ю.Д. Идеи и методы современной структурной лингвистики: Краткий очерк / Ю.Д. Апресян. – Москва : Просвещение, 1966. – 302 с.

3. Апресян Ю.Д. Избранные труды, том I. Лексическая семантика: 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Школа «Языки русской культуры», 1995. – 472 с.

4. Ахманова О.С., Микаэлян Г.Б. Современные синтаксические теории. Изд. 2-е, стер. – Москва : Эдиториал УРСС, 2003. – 164 с.

5. Баранов А.Н. Введение в прикладную лингвистику. – Москва : Эдиториал УРСС, 2001. – 358 с.

6. Бейкер М. Атомы языка: Грамматика в темном поле сознания – Москва : URSS, 2008. – 272 с.

7. Бешенков С.А., Ракитина Е.А. Моделирование и формализация. – Москва : Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 333 с.

8. Воронина И.Е. Компьютерное моделирование лингвистических объектов. – Воронеж, 2007. – 177 с.

9. Гаскаров Д.В. Интеллектуальные информационные системы. – Москва : Высш. шк., 2003. – 431 с.

10. Герд А. С. Прикладная лингвистика. – Санкт-Петербург : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2005. – 266 с.

11. Гладкий А.В. Формальные грамматики и языки. – Москва, 1973. – 368 с.

12. Гладкий А.В. Синтаксические структуры естественного языка в автоматизированных системах общения. – Москва : Наука, 1985. – 142 с.

13. Гладкий А.В., Мельчук И.А. Элементы математической лингвистики. – Москва : Наука, 1969. – 192 с.

14. Демьянков В.З. Функционализм в зарубежной лингвистике конца XX в. // Дискурс, речь, речевая деятельность : функциональные и структурные аспекты. – Москва : ИНИОН РАН, 2000. – С. 14-68.

15. Дешериева Т.И. Языкознание и математика. – Москва : ЛЕНАНД, 2022. – 88 с.

16. Засорина Л. Н. Введение в структурную лингвистику. – Москва : Высш. шк., 1974. – 319 с.

17. Звегинцев В.А. Теоретическая и прикладная лингвистика. – Москва : Просвещение, 1967. – 338 с.

18. Зубов А.В., Зубова И.И. Информационные технологии в лингвистике. – Москва : Academia, 2004. – 205 с.

19. Иомдин Л. Л. Автоматическая обработка текста на естественном языке: модель согласования. – Москва : Наука, 1990. – 167 с.

20. Кацнельсон С. Д. К понятию типов валентности // Вопросы языкознания. – 1987. – № 3. – С. 20–32.

21. Кацнельсон С. Д. О грамматической категории // Вестник Ленинградского университета. – 1948. – № 2. – С. 114–134.

22. Кибрик А.Е. Очерки по общим и прикладным вопросам языкознания: универсальное, типовое и специфичное в языке. 2-е изд. – Москва : УРСС, 2001. – 332 с.

23. Кобозева И. М. Лингвистическая семантика. – Изд. 2-е. – Москва : УРСС, 2004. – 350 с.

24. Коваль С.А. Лингвистические проблемы компьютерной морфологии. – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГУ, 2005. – 150 с.

25. Кодзасов С.В., Кривнова О.Ф. Общая фонетика. – Москва : Изд-во РГГУ, 2001. – 590 с.

26. Кодзасов С.В., Кривнова О.Ф. Современная американская фонология. – Москва : УРСС, 2004. – 192 с.

27. Лайонз Дж. Лингвистическая семантика. – Москва : Языки славянской культуры, 2003. – 397 с.

28. Левитин А.В. Алгоритмы : введение в разработку и анализ. – Москва : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 576 с.

29. Леонтьева Н.Н. Автоматическое понимание текстов: системы, модели, ресурсы. – Москва : Академия, 2006. – 302 с.

30. Лосев А.Ф. Введение в общую теорию языковых моделей. Изд. 2-е, стереотипное. – Москва : Эдиториал УРСС, 2004. – 296 с.

31. Лыскова В.Ю., Ракитина Е.А. Логика в информатике. – Москва : Лаборатория Базовых Знаний, 2006. – 160 с.

32. Лютикова Е.А. Формальные модели падежа: теории и приложения. – Москва : Языки славянской культуры, 2017. – 384 с.

33. Лютикова Е.А., Татевосов С.Г. Русский язык и формальная лингвистика // Rhema. Рема. – 2017. – № 4. – С. 9-22.

34. Марчук Ю. Н. Основы компьютерной лингвистики. – Москва : Народный учитель, 2000. – 227 с.

35. Марчук Ю.Н. Компьютерная лингвистика. – Москва : АСТ : Восток – Запад, 2007. – 317 с.

36. Мельчук И. А. Курс общей морфологии. – Москва : Языки славянских культур, 2000. – 584 с.

37. Мельчук И.А. Опыт теории лингвистических моделей «Смысл ↔ текст» : Семантика, синтаксис. – Москва : Школа «Языки русской культуры»: Кошелев, 1999. – 345 с.

38. Мельчук И.А. Язык : от смысла к тексту. – Москва : Языки славянской культуры, 2012. – 174 с.

39. Митренина О.В., Николаев И.С., Ландо Т.М. Прикладная и компьютерная лингвистика. – Москва : URSS, 2025. – 320 с.

40. Митренина О.В., Романова Е.Е., Слюсарь Н.А. Введение в генеративную грамматику. – Москва : Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. – 376 с.

41. Моделирование в корпусной лингвистике. Специализированные корпусы русского языка. – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГУ, 2019. – 207 с.

42. Налимов В.В. Вероятностная модель языка : О соотношении естественного и искусств. яз. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Наука, 1979. – 303 с.

43. Новое в зарубежной лингвистике. Вып. XI. Современные синтаксические теории в американской лингвистике. – Москва : Прогресс, 1982. – 459 с.

44. Пентус А.Е., Пентус М.Р. Математическая теория формальных языков. – Москва : Интернет-университет информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 247 с.

45. Пинкер С. Язык как инстинкт. – Москва : URSS, 2023. – 834 с.

46. Пиотровский Р. Г. Инженерная лингвистика и теория языка. – Ленинград : Наука, 1979. – 112 с.

47. Плунгян В. А. Общая морфология: введение в проблематику. – Москва : Эдиториал УРСС, 2000. – 383 с.

48. Потапова Р.К. Новые информационные технологии и лингвистика. – Москва : УРСС, 2005. – 364 с.

49. Потапова Р.К. Речь: коммуникация, информация, кибернетика. – Москва: УРСС, 2003. – 564 с.

50. Прикладное языкознание : учебник / Авт.: С. А. Аверина, И. В. Азарова, Е. Л. Алексеева и др. ; Отв.ред. А. С. Герд; С. Петербург. гос. ун-т. – СПб. : Изд-во С-Петербург. ун-та, 1996. – 525 с.

51. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход. – Москва : Вильямс, 2006. – 1407 с.

52. Русские острова в свете экспериментальных данных / под ред. Е.А. Лютиковой, А.А. Герасимовой. – Москва : Буки Веди, 2021. – 412 с.

53. Сова Л.З. Аналитическая лингвистика и типология. – Санкт-Петербург : Изд-во Санкт-Петербургского Политехнического университета, 2007. – 378 с.

54. Современная американская лингвистика: фундаментальные направления / Под ред. А.А. Кибрика, И.М. Кобозевой, И.А. Секериной. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Москва : Едиториал УРСС, 2002. – 477 с.

55. Соломоник А. Семиотика и лингвистика. – Москва : Молодая гвардия, 1995. – 352 с.

56. Тестелец Я.Г. Введение в общий синтаксис. – Москва : Изд-во РГГУ, 2001. – 796 с.

57. Трубецкой Н. С. Основы фонологии. – Москва : Аспект Пресс, 2000. – 351 с.

58. Философия языка = The philosophy of language / под ред. Дж.Р. Серля; пер. И.М. Кобозевой [и др.]. – Москва : УРСС, 2004. – 206 с.

59. Хомский Н. О природе и языке. С очерком «Секулярное священство и опасности, которые таит демократия»: пер. с англ. / Н. Хомский ; пер. с англ. П.В. Феденко. – Москва : КомКнига, 2005. – 285 с.

60. Хомский Н., Миллер Дж. Введение в формальный анализ естественных языков. – Москва : Едиториал УРСС, 2003. – 64 с.

61. Advances in Generative Lexicon Theory / Ed. by. Lee C., Isahara H., Pustejovsky J. et al. – Dordrecht: Springer Netherlands, 2015. – 488 p.

62. Archangeli D. Aspects of underspecification theory // Phonology. 2008. Vol. 5. No. 2. Pp. 183–207.

63. Bach E. Informal Lectures on Formal Semantics. – NewYork : State University of New York Press, 1989. – 150 p.

64. Baerman M., Brown D., Corbett G.G. The Syntax-Morphology Interface: A Study of Syncretism. – Cambridge : Cambridge University Press, 2005. – 281 p.

65. Bale A., Reiss C. Phonology : A formal introduction. – Cambridge: MIT Press, 2018. – 608 p.

66. Bezalel E.D., van der Hulst H. The Oxford History of Phonology. – Oxford: Oxford University Press, 2022. – 872 p.

67. Bobaljik J. D. Distributed morphology // Oxford research encyclopedia of linguistics. – Oxford: Oxford University Press, 2017. – URL: https://oxfordre.com/linguistics/view/10.1093/acrefore/9780199384655.001.0001/acrefore-9780199384655-e-131.

68. Boersma P., Levelt C. Optimality Theory // Annual review of language acquisition, 2004. 2004. No. 3. Pp. 1-50.

69. Brown D., Corbett G., Fraser N., Hippisley A. Russian Noun Stress and Network Morphology // Linguistics. 1996. No. 34 (1). Pp. 53-108.

70. Brown D., Hippisley A. Network Morphology: A Defaults-based Theory of Word Structure. – Cambridge: Cambridge Univesity Press, 2012. – 324 p.

71. Cann R. Formal semantics: An introduction. – Cambridge: Cambridge University Press, 1993. – 344 p.

72. Clements G.N. The geometry of phonological features // Phonology. 1985. No. 2. Pp. 225-252.

73. Chomsky N. Syntactic Structure. – Berlin / New York: Mouton de Gruyter, 2002. – 117 p.

74. Chomsky N., Halle M. The sound pattern of English. New York: Harper & Row, 1968. – 470 p.

75. Cook V. J. Chomsky's universal grammar: an introduction. – Oxford: Blackwell, 1989. – 201 p.

76. Corbett G. G., Fraser N. M. Network Morphology: A DATR Account of Russian Nominal Inflection // Journal of linguistics. 1993, No. 29 (1). Pp. 113–142.

77. Dressler W. U. Explaining natural phonology. // Phonology. 1984. No. 1. Pp. 29-51.

78. Fellbaum C. WordNet // Theory and Applications of Ontology. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. – Pp. 231-243.

79. Formal Models in the Study of Language: Applications in Interdisciplinary Contexts / Ed. by Blochowial, Grisot C., Durrleman S., Laenzlinder C. – New York: Springer International Publishing, 2017. – 345 p.

80. Goldsmith J. Autosegmental and metrical phonology. – Colchester, VT: Basil Blackwell, 1989. – 376 p.

81. Goldsmith J., Laks B. Generative phonology: its origins, its principles, and its successors // The Cambridge History of Linguistics, edited by Linda Waugh & John Joseph. Cambridge: Cambridge Univesity Press, 2006.

82. Grice H.P. Studies in the Ways of Words. – Cambridge, MA: Harvard University Press, 1989.

83. Halle M., Mohanan K. P. Segmental phonology of modern English // Linguistic inquiry. 1985. No. 16 (1). Pp. 57-116.

84. Halliday M.A.K. An Introduction to Functional Grammar. – Baltimore, MD: University Park Press, 1985.

85. Harris Z. S. Methods in Structural Linguistics. – Chicago: University of Chicago Press, 1951. – 384 p.

86. Katz J., Fodor J. The structure of a semantic theory // Language. 1963. Vol. 39. No. 2. Pp. 170-210.

87. Koskenniemi, K. Two-level model for morphological analysis // *IJCAI*, 1983. Vol. 83. Pp. 683-685.

88. Koskenniemi, K. Simplified Two-level Morphophonology // Tokens of Meanings: Papers in Honor of Lauri Karttunen. – Stanford: CSLI Lecture Notes. 2019. No. 224. Pp. 401-416.

89. Kreidler C. Phonology: Critical Concepts in Linguistics. Vol. 2. – London: Taylor & Francis, 2001. – 3318 p.

90. Langacker R. Foundations of Cognitive Grammar. – Stanford, CA: Stanford University Press, 1987.

91. Meduna A., Soukup O. Modern Language Models and Computation: Theory with Applications. – New York: Springer International Publishing, 2017. – 548 p.

92. Newmeyer F.J. Possible and Probable Languages. A Generative Perspective on Linguistic Typology. – Oxford: Oxford University Press, 2005. – 278 p.

93. Partee B.H., Portner P.H. Formal Semantics: The Essential Readings. – Oxford: Blackwell Publishing, 2008. – 496 p.

94. Pollard C., Sag I. A. Head-driven phrase structure grammar. – Chicago: University of Chicago Press, 1994. – 440 p.

95. Prince A., Smolensky p. Optimality Theory in phonology // International encyclopedia of linguistics. 2003. No. 3. P. 212-222.

96. Pustejovsky, James. The generative lexicon // Computational linguistics. 1991. No. 17.4. Pp. 409-441.

97. Stump G. T. Morphological and syntactic paradigms: Arguments for a theory of paradigm linkage. // Yearbook of morphology 2001. – Dordrecht: Springer Netherlands, 2001. – Pp. 147-180.

98. Van Valin R., Jr. Functional Linguistics: Communicative Functions and Language Structure // Handbook of Linguistics. Ed. by M. Aronoff & J. Rees-Miller. – Blackwell, 2017. – P. 141-157.

99. Van Valin R.D. An Introduction to Syntax. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. – 239 p.

Учебное издание

Шилихина Ксения Михайловна

ФОРМАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ В ЛИНГВИСТИКЕ

Учебник

Издано в авторской редакции

Компьютерная верстка *Е.Е. Комаровой*

Подписано в печать 08.04.2026. Формат 60×84/16.
Уч.-изд. л. 15,8. Усл. п. л. 18,6. Тираж 50 экз. Заказ 37

Издательский дом ВГУ
394018 Воронеж, пл. Ленина, 10
Отпечатано в типографии Издательского дома ВГУ
394018 Воронеж, ул. Пушкинская, 3