

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ СИНТАКСИСУ РЕЧЕННЯ СЛОВ'ЯНСЬКИХ ТА ГЕРМАНСЬКИХ МОВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНТЕКСТНО-ВІЛЬНИХ ГРАМАТИК

© Висоцька В. А., 2015

Описано застосування породжувальних граматики у лінгвістичному моделюванні. Опис моделювання синтаксису речення застосовують для автоматизації процесів аналізу та синтезу природно-мовних текстів.

Ключові слова: породжувальні граматики, структурна схема речення, інформаційна лінгвістична система.

This paper presents the generative grammar application in linguistic modelling. Description of syntax sentence modelling is applied to automate the processes of analysis and the synthesis of texts in the natural language.

Key words: generative grammar, structured scheme sentences, information linguistic system.

Вступ. Загальна постановка проблеми

Автоматично-лінгвістичне опрацювання природно-мовних текстів (АОПТ) як аналіз/синтез є основною проблемою інтелектуалізації інформаційних технологій (ІТ) [2–6, 8, 9, 18, 21–24, 26, 27, 29, 43, 46–48]. Стрімкий та бурхливий розвиток інтернет та ІТ активізував створення різноманітних інформаційних лінгвістичних ресурсів і сучасні дослідження, спрямовані на розроблення та впровадження інформаційних лінгвістичних систем (ІЛС), математичних методів та програмного забезпечення АОПТ. Для автоматизації етапів аналізу/синтезу природно-мовних текстів створюють різні моделі процесів АОПТ та ефективні алгоритми та структури подання природно-мовних текстових масивів даних (ПТМД). Традиційно лінгвістичний аналіз масивів природно-мовних текстів подають як послідовність процесів морфологічного, синтаксичного та семантичного аналізу/синтезу. Для кожного процесу створені відповідні моделі, методи та алгоритми: орієнтовані на конкретні групи мов (морфолексичний аналіз); системні граматики Холідея, граматики Хомські (N. Chomsky) [10–16, 38–41, 49–57], дерева підпорядкування та системи складових Гладкого [14–16], розширені мережі переходів (синтаксис речення); класичні семантичні мережі та фреймові моделі Мінського (семантика тексту). Необхідність в автоматизації процесів АОПТ сприяла появі відповідних формальних та математичних лінгвістичних моделей і методів їх аналізу/синтезу. Активним є розвиток мовознавчих дисциплін для потреб галузі комп'ютерних наук та ІТ. Інтеграційні процеси в цій галузі наук сприяють активному залученню науковців у сфері досліджень АОПТ для розроблення та створення автоматизованих ІС опрацювання багатомовної текстової інформації. Найскладніші проблеми АОПТ зумовлені явищами полісемії, омонімії, ононімії тощо, які характеризують неоднозначність мови і ускладнюють процес виявлення коректного відображення семантично-синтаксичної структури тексту в формальне подання через логічну інтерпретацію. Це вирішують в межах семантичного аналізу. Але застосування ресурсооб'ємних продукційних правил логічно-семантичного аналізу ускладнює та уповільнює програми АОПТ. Під час розуміння тексту не часто застосовують логіку (тільки у разі виникнення логічних задач). Переважно ж здійснюється асоціативний пошук семантичного концепту, що відповідає шуканому слову та є контексто-наближеним до власного оточення. Асоціативний пошук є швидшим та економічним засобом розуміння неоднозначності інтерпретації ПТМД.

Зв'язок висвітленої проблеми із важливими науковими та практичними завданнями

Ця робота присвячена розробленню алгоритмів асоціативно-семантичного аналізу/синтезу ПТМД з врахуванням їх контекстних зв'язків та особливостей синтаксису речення слов'янських та германських мов, їх переваг, відмінностей та недоліків.

Ще однією актуальною проблемою є розроблення моделей подання знань, що використовує людина при аналізі/синтезі ПТМД. У цих структурах дані різних рівнів АОПТ інтегровані функціонально. Це робить процес опрацювання тексту зручнішим та прозорішим. Найефективнішими для роботи з базами знань ПТМД є семантичні онтології від В. Раскіна та С. Ніренбурга. Відому онтологічну систему Wordnet (глобальна лінгвістична база знань Принстонського університету) використовують як базу для створення власних програм АОПТ в ІЛС. Але існуючі лінгвістичні алгоритми не можуть зрівнятися за якістю з можливостями людини із-за інформаційної ізольованості процесів АОПТ на кожному етапі аналізу у разі відсутності процесу обміну даними з іншими процесами. Обмін відбувається лише при переході між етапами АОПТ. А семантичний, синтаксичний та морфологічний аналізи ПТМД людиною є паралельними взаємодіючими процесами. При визначенні структури та синтаксису речення один процес використовує результати інших. А напрямки такої взаємодії є і “знизу-догори” (морфологія визначає синтаксис, синтаксис – семантику) та “згори-донизу” (семантика керує синтаксисом та морфологією, синтаксис – морфологією). У результаті аналізу при появі неоднозначності долучається процес вищого рівня для ефективного вирішення проблеми. В. М. Глушков, О. А. Летичевський, А. В. Анісімов та інші вчені запропонували в своїх роботах математично-алгоритмічні дослідження властивостей паралельних обчислень для різноманітних задач, які використовують для розроблення моделей процесів аналізу ПТМД як деякого простору паралельних розподілених процесів із заданим відношенням підпорядкування. Результати досліджень А. В. Анісімова щодо паралельних розподілених процесів знайшли своє ефективне застосування в задачах АОПТ [9]. Його керуючі простори як універсальні засоби моделювання паралельних асинхронних розподілених процесів використані для привнесення в стандартні схеми аналізу/синтезу текстів елементів взаємодії між процесами при АОПТ. Актуальність статті визначає поєднання послідовних та паралельних, формальних та евристичних підходів до розв'язання задач АОПТ, дає можливість досягти значного підвищення ефективності програмної реалізації моделей аналізу/синтезу ПТМД.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Лінгвістичні засади створення систем автоматичного опрацювання текстів природною мовою

Основною формою подання і збереження інформації є ПТМД в усній і писемній формі. Тому ефективність використання ІТ залежить значною мірою від вирішення проблеми АОПТ, кінцева мета якого – розпізнавання їх змісту. В АОПТ виділяються два рівні залежно від глибини і складності процесу опрацювання: формального (перетворення фрагментів тексту без звернення до аналізу його змісту) та змістового (розпізнавання змісту окремих елементів і логіко-семантичних відношень між ними для подання семантики повідомлення). На цьому рівні виникає необхідність у використанні додаткової семантичної інформації, яка експліцитно не виражена у тексті.

Перший рівень (формальне опрацювання) – основа всіх існуючих ІТ у діючих системах АОПТ, а другий рівень – поле для теоретичних й експериментальних досліджень автоматичного семантичного аналізу. Обов'язковою складовою частиною лінгвістичного забезпечення будь-якої системи АОПТ є автоматичний морфологічний аналіз (АМА), до завдань якого входять: визначення для одиниць тексту інформації місця у морфологічній системі відповідної мови; ідентифікація словоформ однієї лексеми.

Внаслідок роботи АМА кожній словоформі тексту приписують коди частин мови і значення граматичних категорій (рід, число, відмінок, вид, час, особа тощо). Характер цієї інформації, обсяг її й методи, за допомогою яких встановлюють морфологічну інформацію, залежать від мети дослідження, у межах якого здійснюється АМА, від орієнтації на характер текстів, що аналізують. Морфологічний аналіз присутній на всіх етапах аналізу тексту, тому що ані морфемний, ані

синтаксичний, ані семантичний аналіз не можуть обійтися без визначення частин мови. Наприклад, при морфемному сегментуванні тексту виділення префіксів можливе без знання частин мови, а суфіксів – ні: потрібні різні їх набори та процедури відсікання суфіксів для іменників, дієслів, прикметників, прислівників. При автоматичному синтаксичному аналізі лише за наявності лексико-граматичної та граматичної інформації до кожної словоформи можна синтаксично прив'язати словоформи у реченні. На рівні формального аналізу тексту морфологічна інформація забезпечує доступ комп'ютера до змісту, опосередкованого через співвіднесеність одиниць змісту з одиницями виразу. Наприклад, у реченні *Модератори періодично редагують контент* визначення комп'ютером морфологічної частиномовної належності через певні формальні граматичні ознаки (*модератори, контент* – іменники, *редагують* – дієслово, *періодично* – прислівник) одержуємо первинну семантичну характеристику, оскільки іменник узагальнено позначає *предмет*, дієслово – *дію*; прикметник *ознаку*; прислівник – *ознаку ознаки*. Наступне уточнення категоріальних ознак називного відмінка множини у *модератори*, знахідного однини у *контент*, часово-особових – у *редагують* тощо наближують нас до розуміння синтаксичної будови речення: підмет (*модератори*, тому що наз. відм.), присудок (*редагують*, тому що особова форма), додаток (*контент*, тому що знах. відм.), обставина (*періодично*), а звідси інформація про суб'єкт, об'єкт дії, детермінанти. Зрозуміло, що до здобуття змісту із цього речення ще довгий шлях, але починається він з морфологічної частиномовної інформації.

Морфологічні ознаки одиниць тексту мають стати інструментом дослідження зв'язку між лексикою і граматиною, між використанням його у мовленні, між парадигматикою (в аспекті розгляду відмінкових форм відмінюваних слів) і синтагматикою (в аспекті лінійних зв'язків слів, сполучуваності у тексті). Функцію саме такого «перекидного містка» виконують частини мови. Звернемося до характеристики основних понять морфології як розділу граматики будь-якої мови.

Морфологія – це одна із частин граматичної будови мови, що охоплює граматичні класи слів (частини мови), граматичні (морфологічні) категорії цих частин мови та їхні форми. Морфологія як наука передбачає виконання таких завдань:

- 1) вивчення граматичних класів слів – частин мови і принципів їхнього класифікаційного виділення;
- 2) виокремлення частини семантики слова як морфологічної;
- 3) обґрунтування набору морфологічних категорій та їхньої природи;
- 4) опис сукупності формальних засобів, закріплених за відповідними частинами мови та їхніми морфологічними категоріями.

Принципову відмінність стратегій традиційного і комп'ютерного морфологічного аналізу визначив Ю. Марчук: «... у комп'ютерній лінгвістиці поняття морфологічного аналізу є поняттям операційним. Якщо у традиційній лінгвістиці до морфологічного аналізу належить те, що характеризує форму і відповідає на питання «що» класифікують, то в обчислювальній (прикладній) лінгвістиці важливо не «що», а «як» одержують ту чи іншу інформацію». Справді, як буде показано нижче, до етапу морфологічного аналізу входить велика кількість операцій, за допомогою яких можна одержати необхідну морфологічну інформацію.

Практично АМА присутній в усіх видах аналізу тексту, оскільки жоден з них не може обійтися без аналізу форм слів, визначення належності слова до граматичного класу. Лінгвістичним поясненням цього є об'єктивно існуючий тісний зв'язок між лексичними і граматичними значеннями одиниць мови, а також між системами парадигматичних і синтагматичних відношень. Н. Гендіна і Д. Хейс зазначали, що морфологічна інформація забезпечує доступ комп'ютеру до змісту тексту, оскільки досі єдиним реальним шляхом автоматичного аналізу плану змісту залишається опосередкований шлях через співвіднесення його з одиницями плану вираження. На думку А. Савченко, погляд на частини мови як на лексико-граматичні класи слів слугує теоретичною підставою обов'язковості розв'язання задачі визначення граматичних класів при автоматичному перетворенні текстової інформації.

Вирішення проблеми автоматичного кодування слів тексту, тобто приписування їм кодів граматичних класів, пов'язане, насамперед, з питанням принципів граматичної класифікації.

Справді, перш ніж виділяти, треба знати, що виділяти, а потім – як виділяти, тобто знайти такі формальні ознаки, з якими може працювати комп'ютер.

Основною одиницею морфології, як і лексикології, є слово, але предметом вивчення лексикології є лексичне значення – предметно-речовий зміст слова, а предметом вивчення морфології є граматичне значення – показник різних відношень, у які вступає слово з іншими словами у словосполученні, реченні, тексті. Об'єктом морфології є структура слова, форми словозміни, способи вираження граматичних значень.

Словоформи – це граматичні форми одного й того ж слова, тотожні лексично (мають спільне лексичне значення), але протиставлені граматичним значенням: *редакую, редакуєш, редакує, редакуємо, редакуєте, редакують, редакував, редакувала, редакувало, редакували, редакуй, редакуймо, редакуйте, редакуватиму, буду редакувати*. Ці звукові комплекси мають спільне лексичне значення, це словоформи, які є конкретними представниками слова у мовленні. Слова змінюють форму відповідно до закономірностей сполучуваності в реченнях, залишаючись при цьому в межах тих самих лексичних значень. Морфологічне слово – це сукупність граматичних форм слів, або словоформ. Упорядкована сукупність граматичних форм слова називається парадигмою. Граматичні значення органічно входять до семантичного плану кожного окремо взятого слова, обов'язково супроводжують і підтримують його вираження. Так, слово *модератор* – це не тільки послідовність із семи звуків, якою в українській мові передається назва особи, що модерує інформаційні ресурси, а і єдність трьох граматичних (морфологічних) ознак – значень роду (чоловічий рід), числа (однина) і відмінка (називний). У формі слова *контент* поєднуються граматичні значення чоловічого роду, однини, знахідного відмінка.

Розгляньмо, з яких елементів складається граматична (морфологічна) інформація, зосереджена в дієслові-присудку *редакують*. Із цієї форми випливає, що відповідна процесуальна ознака реалізується одночасно з моментом мовлення про неї, не є завершеним, доведеним до певної межі процесом, не пов'язана ні з тим, хто говорить (я), ні з адресатом мовлення (*ти*), вказує лише на понад один предмет (*модератор-и*), що виконують певну дію. Наведеним ознакам відповідають граматичні значення теперішнього часу, недоконаного виду, третьої особи множини.

Граматичні значення набагато ширші, абстрактніші порівняно із власне лексичними, які мають індивідуальний характер. Такі далекі із семантичного погляду іменники, як *задача, система, математика, модель, подія, формула, стаття, газета, літера, крапка, кома* тощо, нічим не відрізняються щодо граматичних значень від іменника *мова* – усі вони іменники жіночого роду, однини, називного відмінка. За таким же принципом узагальнення виділяються і дієслівні граматичні значення: дієслова *записати* і *стерти* або *зберегти* і *знищити* позначають різні, навіть різко протилежні процеси, але вони абсолютно тотожні, рівнозначні як між собою, так і з дієсловом *редакувати* з погляду граматичних характеристик.

Отже, можна констатувати: під граматичним (морфологічним) треба розуміти значення, абстраговане внаслідок обов'язкового розрізнення не менше двох однотипних, постійно повторюваних ознак великої кількості конкретних слів з властивими їм лексичними значеннями.

Спеціальні постійно використовувані засоби мовного вираження граматичних значень називаються граматичними формами. Ці два поняття перебувають у найтіснішій єдності: граматичне значення знаходить свій вияв тільки в тій або іншій формі, яка, своєю чергою, покликана передавати граматичне значення. Істотною особливістю цієї єдності є те, що одне й те саме граматичне значення може мати різні матеріальні засоби вираження, або форми. Наприклад, в українській мові співіснують дві рівноцінні з граматичного погляду варіантні форми майбутнього часу (*редакуватиму* і *буду редакувати*), дві форми давального відмінка (*контенту, контентові*).

Існують такі способи вираження граматичного значення: синтетичний, аналітичний, аналітико-синтетичний та суплетивний. Разом з тим можна спостерігати і таке явище, коли одна форма виступає засобом вираження кількох граматичних значень одночасно. Наприклад, у слові *контент-0* нульова флексія є одночасно формою вираження трьох граматичних значень: чоловічого роду, однини, називного/знахідного відмінка, тобто всі граматичні значення синтезовані в єдиній, неподільній формі. Як уже зазначалося, граматичні значення узагальнюються на основі

кількох однотипних характеристик і підлягають внутрішньому поділу на часткові підзначення, тобто ґрунтуються на співвідношенні між загальним і частковим, конкретнішим. Для позначення класів однотипних граматичних значень вживається поняття граматичної категорії. До морфологічних належать, зокрема, категорії роду, числа, відмінка, особи, часу, способу, стану, виду, об'єднані у парадигми. Узагальнюючи часткові граматичні значення, граматичні категорії виконують важливу класифікаційну роль.

Експериментальні та промислові системи автоматичного опрацювання текстів

Комп'ютерна граматики створюється в деяких системах АОПТ по-різному. Вибір принципів комп'ютерної граматики обумовлено кількома факторами (табл. 1).

Таблиця 1

Основні етапи роботи модуля рубрикації контенту

Назва	Призначення
Система мови	З попередньої теми ви дізналися, що у мові є обмежений набір засобів вираження граматичних значень, а виконуючи практичне завдання, переконалися, що залежно від морфологічного типу мови визначається і шлях морфологічного аналізу. Якщо у мові розвинені способи синтетичного вираження граматичних значень, тобто словозміна, то початковим етапом визначення значень граматичних морфологічних категорій обирається аналіз структури словоформи. Якщо ж структура граматичних значень виражається аналітико-синтетичним або аналітичним способом, шляхом сполучення різних слів/словоформ, то аналіз слова обмежується тільки пошуком за словником заздалегідь визначених морфологічних характеристик кожного слова чи словоформи, по дальший аналіз відбувається за допомогою оточення (дистрибуції) слова.
Система письма і друку	АОПТ призначено для писемного тексту. Різні мови користуються різними системами письма (літерними, складовими тощо). Крім того, важливими є відомості про те, як співвідносяться усне і писемне мовлення (напр., у писемному тексті відсутні деякі голосні або присутній наголос, який має морфологічне значення тощо). Істотним є також спосіб членування тексту спеціальними засобами (пробіл, пунктуаційні знаки, величина букв, знаки членування тексту на структурні частини тощо).
Тематика тексту	Кожному тексту як результату мовленнєвої діяльності й засобу комунікації відповідає певна система понять, що відображають його тематичну спрямованість. Дослідження лексичного складу, морфологічних характеристик, синтаксичних структур текстів різної тематичної спрямованості виявляють розбіжності у вживанні лінгвістичних одиниць, що іноді враховується при автоматизації морфологічного аналізу.

Системи АОПТ створювалися спочатку як *експериментальні*. Лінгвісти перевіряли правильність і достатність прийнятих лінгвістичних теорій з метою автоматизації. У перших системах АОПТ, які розроблялися у середині ХХ ст., використовувалися дані з теорії морфемного аналізу, морфонології, парадигматики лексико-граматичних класів слів. Автоматичний аналіз у таких системах розпадається на три складові частини: автоматичне виділення основи у словоформі тексту; пошук основи у словнику основ; порівняння структури словоформи з даними про її основу, які містяться у словнику основ. Інакше кажучи, кожна словоформа тексту аналізується за допомогою заздалегідь укладених словників основ, коренів, префіксів, суфіксів, флексій. Омонімія словоформ не розрізнялася. Під час роботи над експериментальними системами АОПТ із часом вироблялися нові принципи роботи з комп'ютером: у системах АОПТ з'явилася можливість спростити процедуру визначення морфологічних характеристик словоформ з урахуванням «інтелектуальних» можливостей комп'ютера, виявилася перспективною ідея використання текстових закономірностей зживання словоформи, поєднання морфологічного аналізу із синтаксичним, а в деяких випадках із семантичним. Наприклад, у системі ЕСАІТ (Експериментальна система автоматичного індексування текстів) здійснюється аналіз і синтез рефератів (журнал «Вопросы информационной теории и практики»). У процесі аналізу відбувається ідентифікація значень слів та синтагматичних відношень між словами вхідного тексту. Інструментами аналізу є

словник основ, словник закінчень, словник омонімічних основ, таблиці семантико-синтаксичної сполучуваності компонентів прийменникових конструкцій, зняття лексичної омонімії, семантичний аналіз іменних безприйменникових конструкцій, таблиці семантичної сполучуваності іменників і прикметників, алгоритми автоматичного аналізу, які визначають певну послідовність перевірок і звертань до словника і таблиць.

Процедура автоматичного індексування розбита на блоки, які працюють послідовно: морфологічний аналіз, синтаксичний аналіз, семантико-синтаксичний аналіз прийменникових конструкцій та варіювання смислового запису запиту.

Наприкінці XX ст. почали створюватися так звані *промислові* системи опрацювання текстової інформації (табл. 2). Як зауважує Ю. Марчук, це системи автоматичного перекладу з однієї мови іншою, системи інформаційного пошуку літератури, автоматизоване й автоматичне редагування текстів, автоматизоване анотування і реферування літератури.

Таблиця 2

Основні промислові системи опрацювання текстової інформації

Назва	Особливості
1	2
SMART	Оснoву системи індексування тексту документів складає система словників і засоби їхнього обслуговування: система поділу слів тексту на флексію й оснoву; словник еквівалентностей (тезаурус), призначений для заміни еквівалентних слів одним або кількома номерами понять, які слугують ідентифікаторами змісту замість оснoв слів; тезаурус, поданий у вигляді ієрархії понять та забезпечує пошук для даного поняття загальнішого/вужчого/асоційованого поняття; словники статистичних і синтаксичних словосполучень; система обслуговування словників.
РЕФЕРАТ	Система автоматичного індексування складається з виділення найінформативніших слів і словосполучень з тексту реферату; розшифрування абрeвіатури; заміна слів, оснoви яких мають дескриптори у машинному словнику, на код дескриптора; зняття омонімії. Процедура індексування складається із індексування за дескрипторним словником; індексування за допомогою автоматичного інформаційно-пошукового тезауруса. Дескрипторний словник має структуру таблиці, що складається із трьох колонок (оснoви слів, набори дескрипторів, приписані кожній оснoві, граматичні ознаки дескрипторів). Переведення тексту реферату на інформаційну мову відбувається із частковим морфологічним аналізом та лематизацією.
Head driven Phrase Structure Grammar (HPSG)	Даний клас граматик для аналізу синтаксичної структури природної мови, заснований на лексичному підході і критиці контекстно-вільних граматик (CFG) відрізняє дві тези: 1) Побудова ієрархічної структури властивостей (feature structure) кожної лексичної одиниці мови, що містить граматичну та семантичну інформацію, і проектування лексику з ієрархічною організацією типів властивостей, де кожен тип-нащадок може успадковувати і перевизначати властивості предка. 2) Уніфікація – як базовий механізм побудови синтаксичної структури. Граматика HPSG не використовує поняття проєкції складової і зберігає базовий компонент, в якості додаткового інструменту механізму уніфікації, зводячи кількість правил граматики до мінімуму і роблячи їх максимально загальними. Зберігаючи правила, HPSG втрачає універсальність граматики, але набуває практичну значимість для програмних реалізацій для проектування ефективних прикладних систем синтаксичного аналізу. Недолік CFG: (а) контекстно-вільні граматика довольні (відсутність у фразових категорій вершини і її властивостей); (б) CFG надлишкові (найпростіший випадок, коли виникає надмірність, відсутність можливості перевірки узгодження).
WordSmith Tools	Багатофункціональний програмний комплекс для дослідження поведінки слів в текстах. Компонент WordList дозволяє побудувати список окремих слів або кластерів слів, упорядкованих за алфавітом або частоті. Компонент Concord використовується для побудови конкорданси. Компонент KeyWords дозволяє побудувати список ключових слів.
Cibola/Oleada	Компоненти системи включають засоби роботи з багатомовними текстами (MUTT), побудови конкорданси (XConcord) для текстів на більш ніж 16 мовами, статистичного аналізу, автоматичного перекладу, різні словники та тезауруси.
Russian Morphological Dictionary	Програма для синтаксичного і морфологічного аналізу російськомовних текстів. Працює з вхідним ASCII-текстом. Використовується морфологічний словник, що включає 120 000 слів.
StarLing	Дозволяє працювати з текстами мультимовним великої довжини, з транскрипційними знаками, зі зручним пошуком, з аналізом і синтезом слів за словником Залізняка, з перекладом по словнику Мюллера. Є функції для порівняльно-історичних досліджень (глоттохронології).

1	2
Textual Analysis Computing Tools (TACT)	Багатофункціональний програмний комплекс для дослідження поведінки слів в текстах. Компонент WordList дозволяє побудувати список окремих слів або кластерів слів, упорядкованих за алфавітом або частоті. Компонент Concord використовується для побудови конкорданси. Компонент KeyWords дозволяє побудувати список ключових слів.
MonoConc/ParConc	Комерційні програми побудови різних конкордансів, в тому числі і багатомовних.
Link Grammar Parser (LinkParser)	<p>Протилежний HPSG підхід до синтаксичному аналізу англійської мови. Використовувана модель аналізу є контекстно-вільною граматикою CFG. На відміну від HPSG, абстрактною і універсальною синтаксичною теорією ПМ, Link Grammar з самого початку створювалася як апарат для автоматичної системи аналізу речення, що дозволило авторам відійти від академічних уявлень, прийнятих в лінгвістичній традиції. Кожна одиниця словника граматики описується формулою, що складається з з'єднувачів (connector). Конектор складається з імені типу зв'язку (наприклад, S – суб'єкт, O – об'єкт, CL – сегмент і т.д.), в яку може вступати розглянута одиниця аналізу, і суфікса, що визначає вектор напрямку з'єднання ('+' право-спрямований конектор і '-' ліво-спрямований конектор). Ліво-направлений і право-спрямований конектори одного типу утворюють зв'язок (з'єднання link). Так, два слова W1 та W2, мають словникові входи W1: A-i W2: A +, утворюють з'єднання A в лінійній послідовності W2W1, але не пов'язані в ланцюжку W1W2. Мова формул, що оперує конекторами, використовує чотири зв'язки: оператор кон'юнкції &, оператор диз'юнкції or, фігурні дужки {} для позначення факультативності і необмеженості повторення @ (еквівалент оператора + Кліні). Так, у формулі слова W: D-& { @ A-} вираз '@ A->' означає, що повинна бути реалізована зв'язок з дескриптором A ліворуч від W хоча б один раз, і може повторюватися необмежену кількість разів; вираз '{ @ A-}' означає, що зв'язок A факультативна. Кон'юнкція несиметрична для односпрямованих конекторів і задає строгий порядок слів у реченні: у формулі W: A + & B + слово, що реалізує з'єднання A, повинне знаходитися ближче до W в лінійній послідовності речення, ніж слово, що реалізує з'єднання B, в тій же послідовності. Для різноспрямованих конекторів кон'юнкція симетрична: формули W: A-& B + і W: B + & A- еквівалентні. Проблема надмірності словника вирішується в системі шляхом розбиття слів англійської мови на 23 класи, де кожному такому класу приписується своя формула. Зрозуміло, існує слова і підмножини слів-винятків, які отримують окрему від основних класів формульну інтерпретацію (до них відносяться, наприклад, опис модальних дієслів або референціальним займенників). Слова узагальнюються в класи з селективним і субкатегоріальним ознаками. У ході аналізу словами в системі приписуються значення їх базових класів – селективних ознак ('cat.n ran.v'). Тип конектора задається ім'ям, де початкові заголовні літери є базовим дескриптором, а нижній складовою індекс, як правило, задає значення грамми, що дозволяє побічно перевіряти погодження або необхідне управління при встановленні зв'язку (наприклад, 'S +' – іменник, 'dogs ideas: Sp + '-' іменник у множині, 'dog idea: Ss + '-' іменник в однині). Таким чином, можуть з'єднуватися або рівні конектори, або два конектора, один з яких вище рівнем: 'Spa +' може з'єднуватися з 'S-', 'Sp-' або 'Spa-', але не з 'Ss-' або 'Spb -'. В аналізаторі LinkParser використовується близько ста різних конекторів, що розрізняються переважно нижньому індексом, число базових дескрипторів – порівняно невелике. У LinkParser вводяться загальні структурні обмеження. Проективності: зв'язки між словами в реченні не перетинаються. Повнота зв'язків: всі слова в лінійній послідовності повинні бути з'єднані між собою. Порядок: в лінійній ланцюжку пропозиції повинен виконуватися порядок реалізації сполук, заданий у формулі несиметричною кон'юнкцією для односпрямованих конекторів. Виняток: для однієї пари слів не може бути проведено більше одного зв'язку.</p>

Формулювання цілей

У межах статті покажемо способи застосування апарата породжувальних граматик до моделювання синтаксису речень для різних мов германської (англійської, німецької) та слов'янської (польської, української) груп. Для цього розберемо синтаксичну структуру речень та продемонструємо особливості процесу синтезу речень зазначених мов. Розглянемо та порівняємо результати впливу норм та правил мови на хід побудови граматик відповідних мовних груп [9].

Аналіз отриманих наукових результатів

Формальні мови і граматики мають велике значення в побудові й реалізації мов програмування. Скінченні автомати і тісно пов'язані з ними конструкції (наприклад, регулярні граматики і регулярні вирази) належать до найважливіших понять інформатики. Різні варіанти скінчених автоматів використовують для опису й аналізу технічних пристроїв, різних систем і процесів, програм і алгоритмів. Для задання синтаксису алгоритмічної мови використовують формальні граматики Н. Хомскі, який формалізував один із розділів лінгвістики – *синтаксис мови* (табл. 3). Найбільших успіхів комбінаторна лінгвістика досягла у дослідженні синтаксису, де із середини ХХ ст. розвинувся спеціальний математичний апарат – теорія формальних породжувальних граматик, яка ефективна в застосуваннях автоматичного опрацювання природної мови (мовах програмування, штучному інтелекті, машинному перекладі). Сформулюємо основні задачі формальної теорії мов.

1. Як за граматику G (і пов'язаною з нею мовою L) породжувати речення $\alpha \in L$?

2. Як за мовою $L \subset V^*$ та ланцюжком $\alpha \in V^*$ з'ясувати, чи $\alpha \in L$?

Для перевірки належності деякого ланцюжка (речення) мові L треба знати, як граматика G породжує L . Далі опишемо загальні принципи породжувальних граматик. У лінгвістиці природних мов терміни *речення* та *слово* мають різний зміст; тому в комбінаторній лінгвістиці послідовність символів зазвичай називають нейтральним терміном *ланцюжок*, а мову як множину формальних ланцюжків – *формальною мовою* (табл. 3).

Таблиця 3

Основні терміни формальних породжувальних граматик

Назва	Визначення
Літера (символ)	Простий неподільний знак; множина літер утворює <i>алфавіт</i> V (словник V).
Алфавіт V	Множина, до якої можна застосовувати теоретико-множинні позначення.
Ланцюжки над алфавітом V	Впорядковані сукупності літер алфавіту, тобто $V^n = V \times V \times \dots \times V$, або $a_1 a_2 \dots a_n$. <i>Порожній ланцюжок</i> – це λ , де $\lambda \notin V$. Ланцюжки іноді називають <i>словами</i> (реченнями).
Замикання	Множина ланцюжків над алфавітом, тобто $V^* = V^0 \cup V^1 \cup \dots = \bigcup_{i=0}^{\infty} V^i$, де $V^0 = \{ \lambda \}$.
Конкатенація	Операція над ланцюжками. Нехай σ та τ – ланцюжки над алфавітом V . <i>Конкатенацією</i> σ та τ називають ланцюжок $\rho = \sigma\tau$ (тобто до ланцюжка σ дописано ланцюжок τ). Якщо ланцюжок складається з повторюваних символів, то використовують скорочені позначення: для $a \in V$ та цілого невід'ємного n записують $a^0 = \lambda$; $aa = a^2$; $aa^{n-1} = a^n$.
Мова L над алфавітом V	Множина ланцюжків (речень) із V^* , тому $L \subset V^*$. Для заданого алфавіту V мова L – це довільна підмножина множини V^* , проте довільні підмножини становлять незначну зацікавленість.
Формальна породжувальна граматика G	Формальна система, визначена четвіркою об'єктів $G = (V, T, S, P)$, де V – скінченна непорожня множина, тобто <i>алфавіт (словник)</i> ; T – її підмножина, елементи якої є <i>термінальними (основними) символами</i> ; S – <i>початковий символ</i> ($S \in V$), P – скінченна множина <i>продукцій (правил перетворення)</i> вигляду $\xi \rightarrow \eta$, де ξ та η – ланцюжки над V . Множину $V \setminus T$ позначають N , елементи якої є <i>нетермінальними (допоміжними) символами</i> . Формальні породжувальні граматики часто називають <i>граматиками із фразовою структурою</i> (phrase-structure grammar), <i>граматиками безпосередніх складових</i> , термінальні символи – <i>терміналами</i> , а нетермінальні символи – <i>нетерміналами</i> .
Виведення	Послідовність кроків для отримання α_n з α_0 . Нехай $G = (V, T, S, P)$ – граматика, $\alpha_0 = \sigma\xi\tau$ при $\xi \neq \lambda$, $\alpha_1 = \sigma\eta\tau$ – ланцюжки над V . Якщо $\xi \rightarrow \eta$ – продукція граматики G , то α_1 <i>безпосередньо виводиться</i> з α_0 , тобто $\alpha_0 \Rightarrow \alpha_1$. Якщо $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n$ – ланцюжки над V такі, що $\alpha_0 \Rightarrow \alpha_1 \Rightarrow \alpha_2 \Rightarrow \dots \Rightarrow \alpha_{n-1} \Rightarrow \alpha_n$, то α_n <i>виводиться</i> з α_0 , і використовують запис $\alpha_0 \Rightarrow^+ \alpha_n$.
Синтаксис мови	Правила визначення множини речень. Менше залежить від змісту та призначення мови.
Семантика мови	Опис множини контенту і відповідності між реченнями та контентом називають семантикою мови, яка залежить від характеру описуваних нею об'єктів, засоби її вивчення для різних типів мов різні. Семантика мови математики – формальні теорії. Дослідження семантики мов програмування стало окремою частиною теоретичного програмування. Спроби точного опису семантики природних мов стосуються передусім машинного перекладу.

Головним об'єктом розгляду статті є питання синтаксису, які треба проілюструвати на прикладі речення утворення речення *весела дитина грається м'ячем* (рис. 1).

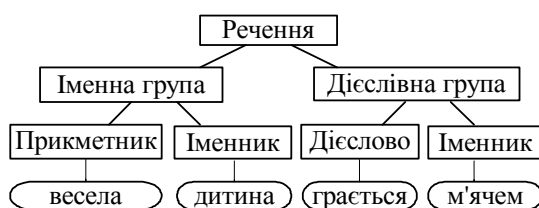


Рис. 1. Діаграма структури речення “весела дитина грається м’ячем”

Речення “весела дитина грається м’ячем” виводиться в граматиці $G = (V, T, S, P)$, де

$V = \{ \langle \text{речення} \rangle, \langle \text{іменна група} \rangle, \langle \text{дієслівна група} \rangle, \langle \text{прикметник} \rangle, \langle \text{іменник} \rangle, \langle \text{дієслово} \rangle, \text{весела, дитина, грається, м'ячем} \}$,
$T = \{ \text{весела, дитина, грається, м'ячем} \}$, $S = \langle \text{речення} \rangle$,
$P = \{ \langle \text{речення} \rangle \rightarrow \langle \text{іменна група} \rangle \langle \text{дієслівна група} \rangle, \langle \text{іменна група} \rangle \rightarrow \langle \text{прикметник} \rangle \langle \text{іменник} \rangle, \langle \text{дієслівна група} \rangle \rightarrow \langle \text{дієслово} \rangle \langle \text{іменник} \rangle, \langle \text{прикметник} \rangle \rightarrow \text{весела}, \langle \text{іменник} \rangle \rightarrow \text{дитина}, \langle \text{дієслово} \rangle \rightarrow \text{грається}, \langle \text{іменник} \rangle \rightarrow \text{м'ячем} \}$.

Ця система породжує тільки одне речення, тому її можна замінити на $L = \{ \text{весела дитина грається м'ячем} \}$. При розширенні мови для введення до неї речень із прикметником *моя, радісна*, дієсловом *погладила* та іменниками *котиння, донька* (тоді L матиме 24 речень) розширюється V та додаються 5 продукцій до P . Формальна породжувальна граMATика G – це четвірка $G = (V, T, S, P)$, подана в табл. 4 [14–16]. Граматики класифікують за типами продукцій (табл. 5) [12–17, 28, 37], на які накладено певні обмеження. Відповідно до типу продукції розрізняють різні види граMATик (табл. 6) [10–16, 38–41, 49–57].

Таблиця 4

Формальна породжувальна граMATика

Знак	Пояснення
V	скінченна непорожня множина, <i>алфавіт (словник)</i> ;
T	її підмножина, елементи якої є <i>термінальними (основними)</i> символами, <i>терміналами</i> ;
S	<i>початковий символ</i> ($S \in V$);
P	скінченна множина <i>продукцій (правил перетворення)</i> вигляду $\xi \rightarrow \eta$, де ξ та η – ланцюжки над V ;
N	$V \setminus T$ елементи є <i>нетермінальними (допоміжними)</i> символами, <i>не терміналами</i>

Таблиця 5

Класифікація граMATик за типами продукцій

Тип	Обмеження на продукції $\xi \rightarrow \eta$
0	Немає обмежень
1	$ \xi \leq \eta $, або $\eta = \lambda$
2	$\xi = A$, де A – нетермінальний символ
3	$\xi = A$, причому $\eta = aB$ або $\eta = a$, де A, B – нетермінальні символи, a – термінальний символ, або $S \rightarrow \lambda$

Таблиця 6

Типи граMATик

Тип	Опис
Довільна	Ланцюжок ξ що містить хоча б один нетермінальний символ, η – ланцюжок над V .
Контекстно-залежна	В множині P є продукція вигляду $\gamma \xi \delta \rightarrow \gamma \eta \delta$, де $ \xi \leq \eta $ (але не $\xi \rightarrow \eta$), то ξ можна замінити на η лише в оточенні ланцюжків $\gamma \dots \delta$, тобто у відповідному контексті.
Контекстно-вільна	Нетермінал A у лівій частині продукції $A \rightarrow \eta$ може бути замінений ланцюжком η у довільному оточенні щоразу, коли він зустрічається, тобто незалежно від контексту.
Регулярна	Продукції $A \rightarrow aB$, $A \rightarrow a$, $S \rightarrow \lambda$, де A, B – нетермінали, a – термінал, λ – порожній ланцюжок.

У мовах виведення зображають графічно через орієнтовані кореневі *дерева виведення* (*дерева синтаксичного розбору*), де кореню відповідає початковий символ, внутрішнім вершинам – нетермінальні символи, листкам – термінальні символи у виведенні. Якщо γ – ланцюжок і $A \rightarrow \gamma$ – продукція виведення, то вершина із нетерміналом A має дочірні вершини, які відповідають кожному символу ланцюжка γ зліва направо. Тлумачитимемо термінальні символи як словоформи (деякої природної мови), нетермінальні символи – як синтаксичні категорії, а термінальні ланцюжки, що виводяться, – як правильні речення даної мови [10–16, 38–41, 49–57]. Тоді виведення речення природно інтерпретують як його синтаксична структура, подана в термінах безпосередній складових [9]. Пояснимо прикладами з табл. 7.

Таблиця 7

Приклади генерування термінального ланцюжка

№	Мова	Приклад
1	англійська	In his most important work, he shows the colourful world of the Ukrainian village in its unique charm
2	українська	У своїй найбільш важливій роботі він показує барвистий світ українського села в його неповторній привабливості
3	німецька	In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte welt des ukrainischen Dorfes in ihrem einmaligen Reiz
4	польська	W swojej najbardziej ważnej pracy on pokazuje kolorowy świat ukraińskiej wioski w jego wyjątkowej atrakcyjności

I. Процес виведення термінального ланцюжка *англійською*, де речення мають строго визначений, особливий порядок слів. Наприклад, для простого розповідного речення англійською мовою основними синтаксичними категоріями є іменна та дієслівна групи [1, 34, 58–67], граматичними категоріями яких є особа та число, за якими відбувається узгодження. Основними граматичними характеристиками складових іменної групи в англійській мові є рід, число, відмінок іменника/займенника, ступінь порівняння, особа, а дієслівної – особа, число, час, вид, спосіб, стан.

Іменна група \tilde{N} виражається *займенником* P_N або має таку структурну схему (у квадратних дужках зазначено необов'язкові елементи, а у фігурних – елементи, які можуть повторюватись):

$$\tilde{N} = [D][E][B][\{\tilde{A}\}]N[\tilde{E}], \text{ або } \tilde{N} = N^p, \text{ або } \tilde{N} = \tilde{N}Q\tilde{N} \quad (1)$$

де D – визначник, E – прийменник, B – прислівник, Q – сполучник, \tilde{A} – прикметникова група, A – прикметник, N – іменник, \tilde{E} – прийменникова група. *Визначник D* є граматичним класом (не частина мови), до якого належать слова (у англійській мові це артиклі, присвійні та вказівні займенники, кількісні прикметники та іменники у присвійному відмінку), що уточнюють \tilde{N} з погляду визначеності, кількості тощо.

Прикметникова група \tilde{A} має таку структурну схему:

$$\tilde{A} = [\{\tilde{B}\}]A[\tilde{E}] \quad (2)$$

де B – прислівник, A – прикметник, E – прийменник, \tilde{E} – прийменникова група.

Прийменникова група \tilde{E} має таку структурну схему:

$$\tilde{E} = E\tilde{N}. \quad (3)$$

Дієслівна група \tilde{R} має таку структурну схему:

$$\tilde{R} = R_V[\tilde{B}], \quad (4)$$

де R_V – дієслівний вираз, \tilde{B} – прислівникова група.

Дієслівний вираз R_V складається з лексичних, допоміжних та модальних дієслів R :

$$R_V = [R_V^M][R_V^D][R_V^D][R_V^D]R_V^L, \quad (5)$$

де R_V^M – модальне дієслово, R_V^D – допоміжне дієслово, R_V^L – лексичне дієслово.

Прислівникова група \tilde{B} має таку структурну схему:

$$\tilde{B} = \{B\}[\{\tilde{E}\}]. \quad (6)$$

Розглянемо породжувальну граматику для моделювання синтаксису речення англійською описаної структурної схеми. Алфавітом є іменникова група, дієслівна групи та їх складові (нетермінальні символи), а також лексичний запас мови (відповідні термінальні символи). Згідно з вимогами та правилами англійської мови в реченні на першому місці розташовують іменну групу, а після неї – дієслівну. Усі можливі перетворення термінальних символів у нетермінальні складають множину правил. Під час виведення отримують незліченну кількість термінальних ланцюжків (речень англійською відповідної структурної схеми), тому така грамика буде необмеженою, і через свою складність застосування не матиме. Для введення контекстно-залежної граматики змодельємо процес побудови простого розповідного речення англійською з такими обмеженнями на структуру речення:

- іменна група виражена не займенником, визначником-артиклем, спрощена прикметниковою групою та без прийменникової групи;
- дієслівна група виражена лише лексичним дієсловом (вид – простий, спосіб – вказівний, стан – активний), у прислівниковій групі опущено прийменникову групу.

Розглядатимемо речення такої спрощеної структурної схеми.

1. Спрощена іменна група \tilde{N} :

$$\tilde{N} = D\{A\}N, \text{ або } \tilde{N} = N^p. \quad (7)$$

Тепер основними граматичними характеристиками іменної групи є число, відмінок іменника, ступінь порівняння, особа. Прикметники можуть об'єднуватися сполучником.

2. Спрощена дієслівна група \tilde{R} матиме таку структурну схему:

$$\tilde{R} = R_v[B]. \quad (8)$$

Тепер основними граматичними характеристиками дієслівної групи є особа, число, час. Прислівники можуть об'єднуватися сполучником, допускається моделювання прислівника прислівником [34]. У табл. 5, 6 введено позначення складових спрощених іменної та дієслівної груп та їх граматичних категорій (у дужках – еквівалент англійською, після «/» вказано використовувані позначення). Відповідно скороченим позначеннями іменної групи буде $\tilde{N}_{NR,PR}$, її складових – $N_{NR,CS}$, A_{CD} ; дієслівної групи – $\tilde{R}_{NR,PR}$, її складової – $R_{NR,PR,TM}$. Категорія особи – це граматична категорія особового займенника, який опущено у спрощеній формі речення. Проте, цю категорію необхідно визначати для іменної групи з метою узгодження вживання дієслівної групи.

Таблиця 5

Позначення граматичних категорій іменної групи та її складових в англійській мові

Тип	Опис
Іменна група/ \tilde{N}	визначник/ D , прикметник/ A , іменник/ N , займенник/ $N^{pronoun}$;
Число (Number)/ NR	однина (Singular)/ sg , множина (Plural)/ pl ;
Відмінок (Case)/ CS	загальний (Common Case)/ cc , присвійний (Possessive Case)/ pc ;
Ступінь порівняння (Comparison Degree)/ CD	основна форма (Positive Degree)/ pd , вищий ступінь (Comparative Degree)/ cd , найвищий ступінь (Superlative Degree)/ sd ;
Особа (Person)/ PR	1-ша (First)/ 1 , 2-га (Second)/ 2 , 3-тя (Third)/ 3 .

Таблиця 6

Позначення граматичних категорій дієслівної групи та її складових в англійській мові

Тип	Опис
Дієслівна група/ \tilde{R}	дієслово/ R , прислівник/ B ;
Число (Number)/ NR	однина (Singular)/ sg , множина (Plural)/ pl ;
Особа (Person)/ PR	1-ша (First)/ 1 , 2-га (Second)/ 2 , 3-тя (Third)/ 3 ;
Час (Time)/ TM	теперішній (Present)/ pr , минулий (Past)/ ps , майбутній (Future)/ ft .

Спосіб подання контекстно-залежної граматики, що виводить речення введеної структурної схеми англійською мовою наведено на прикладі речення: *In his most important work, he shows the colourful world of the Ukrainian village in its unique charm.* (У своїй найбільш важливій роботі він показує барвистий світ українського села в його неповторній привабливості.) Розглянемо граматику $G_1=(V, T, S, P)$. Алфавіт (для зручності позначення синтаксичних категорій подамо без індексів) $V=(S, \tilde{N}, \tilde{R}, D, A, N, R, Q, E, B, \#, in, his, most, important, work, he, shows, the, colourful, world, of, Ukrainian, village, its, unique, charm)$, $T=(\#, in, his, most, important, work, he, shows, the, colourful, world, of, Ukrainian, village, its, unique, charm)$, $\#$ – символ межі речення, S – початковий символ. Множину правил P подамо у вигляді табл. 7.

Таблиця 7

Правила генерування термінального ланцюжка англійською мовою

№	Група	Правила
I.	Вибір S	$S \rightarrow \# \tilde{N}_{NR,PR} \tilde{R}_{NR,PR} \#$, де $\#$ – символ межі ланцюжка
II.	Розгортання \tilde{N}	1) $\tilde{N}_{NR,PR} \rightarrow D \tilde{N}_{NR,PR}$; 2) $\tilde{N}_{NR,PR} \rightarrow A_{CD} \tilde{N}_{NR,PR}$; 3) $\tilde{N}_{NR,PR} \rightarrow \tilde{N}_{NR,PR} E \tilde{N}_{NR,PR}$; 4) $\tilde{N}_{NR,PR} \rightarrow N_{NR,CS}$; 5) $\tilde{N}_{NR,PR} \rightarrow \tilde{N}_{NR,PR} Q \tilde{N}_{NR,PR}$; 6) $A_{CD} \rightarrow A_{CD} Q A_{CD}$; 7) $\tilde{N}_{NR,PR} \rightarrow N_{NR,CS}^{pronoun}$; 8) $\tilde{N}_{NR,PR} \rightarrow \tilde{N}_{NR,PR} E \tilde{N}_{NR',PR'}$; 9) $A_{CD} \rightarrow B A_{CD}$; 10) $A_{CD} \rightarrow B^{cmyunib} A_{CD}$; 11) $\tilde{N}_{NR,PR} \rightarrow E \tilde{N}_{NR,PR} \tilde{N}_{NR,PR}$; 12) $\tilde{N}_{NR,PR} \rightarrow N_{NR,CS} E N_{NR',CS}$.
III.	Розгортання \tilde{R}	1) $\tilde{R}_{NR,PR} \rightarrow R_{NR,PR,TM}$; 2) $\tilde{R}_{NR,PR} \rightarrow R_{NR,PR,TM} B$; 3) $B \rightarrow B Q B$; 4) $B \rightarrow B B$; 5) $\tilde{R}_{NR,PR} \rightarrow \tilde{R}_{NR,PR} \tilde{N}_{NR,PR}$; 6) $B B \rightarrow B^{cmyunib} B$, тобто сполучуваність прислівника залежить від контексту. Змістовний сенс обмеження полягає у тому, що прислівники міри та ступеню при сполученні з іншим прислівником виступають, здебільшого, в якості препозитивного елемента (<i>most important, so well, almost far</i>) [34].
IV.	Реалізація категорій	1) $A_{CD} \rightarrow Ukrainian_{CD}$ (український); 2) $A_{CD} \rightarrow important_{CD}$ (важливий); 3) $A_{CD} \rightarrow colourful_{CD}$ (барвистий); 4) $A_{CD} \rightarrow unique_{CD}$ (неповторний); 5) $N_{NR,CS} \rightarrow work_{NR,CS}$ (робота); 6) $N_{NR,CS} \rightarrow world_{NR,CS}$ (світ); 7) $N_{NR,CS} \rightarrow village_{NR,CS}$ (село); 8) $N_{NR,CS} \rightarrow charm_{NR,CS}$ (привабливість); 9) $D \rightarrow the$ (означений артикль); 10) $R_{NR,PR,TM} \rightarrow show_{NR,PR,TM}$ (показувати); 11) $B^{cmyunib} \rightarrow most$ (найбільш); 12) $Q \rightarrow and$ (і); 13) $B \rightarrow important$ (важливо); 14) $N_{NR,CS}^{pronoun} \rightarrow he_{NR,CS}$ (він); 15) $E \rightarrow in$ (в); 16) $E \rightarrow of$ (для); 17) $N_{NR,CS}^{pronoun} \rightarrow it_{NR,CS}$ (вона); 18) $N_{NR,CS}^{pronoun} \rightarrow it_{NR,CS}$ (воно); 19) $A_{CD} \rightarrow its_{CD}$ (свій); 20) $A_{CD} \rightarrow his_{CD}$ (свій).

Генерування термінального ланцюжка англійською «*In his most important work, he shows the colourful world of the Ukrainian village in its unique charm*» для заданої структурної схеми в табл. 7. Схематично виведення в граматиці G_1 для генерування речення англійською мовою подано на рис. 2.

1. S
2. (I) $\# \tilde{N}_{sg,3} \tilde{R}_{sg,3} \#$
3. (II.11) $\# E \tilde{N}_{sg,3} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{R}_{sg,3} \#$
4. (II.2) $\# E A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{R}_{sg,3} \#$
5. (II.2) $\# E A_{pd} A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{R}_{sg,3} \#$
6. (II.10) $\# E A_{pd} B^{cmyunib} A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{R}_{sg,3} \#$
7. (III.5) $\# E A_{pd} B^{cmyunib} A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{R}_{sg,3} \tilde{N}_{sg,3} \#$
8. (II.1) $\# E A_{pd} B^{cmyunib} A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{R}_{sg,3} D \tilde{N}_{sg,3} \#$
9. (II.2) $\# E A_{pd} B^{cmyunib} A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{R}_{sg,3} D A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \#$
10. (II.3) $\# E A_{pd} B^{cmyunib} A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{R}_{sg,3} D A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} E \tilde{N}_{sg,3} \#$
11. (II.1) $\# E A_{pd} B^{cmyunib} A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{R}_{sg,3} D A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} E D \tilde{N}_{sg,3} \#$

12. (II.2) # $EA_{pd} B^{стунінь} A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{R}_{sg,3} DA_{pd} \tilde{N}_{sg,3} EDA_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \#$
13. (II.3) # $EA_{pd} B^{стунінь} A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{R}_{sg,3} DA_{pd} \tilde{N}_{sg,3} EDA_{pd} \tilde{N}_{sg,3} E \tilde{N}_{sg,3} \#$
14. (II.2) # $EA_{pd} B^{стунінь} A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{R}_{sg,3} DA_{pd} \tilde{N}_{sg,3} EDA_{pd} \tilde{N}_{sg,3} EA_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \#$
15. (II.2) # $EA_{pd} B^{стунінь} A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{N}_{sg,3} \tilde{R}_{sg,3} DA_{pd} \tilde{N}_{sg,3} EDA_{pd} \tilde{N}_{sg,3} EA_{pd} A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \#$
16. (II.7) # $EA_{pd} B^{стунінь} A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} N_{sg,cc}^{pronoun} \tilde{R}_{sg,3} DA_{pd} \tilde{N}_{sg,3} EDA_{pd} \tilde{N}_{sg,3} EA_{pd} A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \#$
17. (III.1) # $EA_{pd} B^{стунінь} A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} N_{sg,cc}^{pronoun} R_{sg,3,pr} DA_{pd} \tilde{N}_{sg,3} EDA_{pd} \tilde{N}_{sg,3} EA_{pd} A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \#$
18. (II.4) # $EA_{pd} B^{стунінь} A_{pd} N_{sg,cc} N_{sg,cc}^{pronoun} R_{sg,3,pr} DA_{pd} \tilde{N}_{sg,3} EDA_{pd} \tilde{N}_{sg,3} EA_{pd} A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \#$
19. (II.4) # $EA_{pd} B^{стунінь} A_{pd} N_{sg,cc} N_{sg,cc}^{pronoun} R_{sg,3,pr} DA_{pd} N_{sg,cc} EDA_{pd} \tilde{N}_{sg,3} EA_{pd} A_{pd} \tilde{N}_{sg,3} \#$
20. (II.4) # $EA_{pd} B^{стунінь} A_{pd} N_{sg,cc} N_{sg,cc}^{pronoun} R_{sg,3,pr} DA_{pd} N_{sg,cc} EDA_{pd} \tilde{N}_{sg,3} EA_{pd} A_{pd} N_{sg,cc} \#$
21. (II.12) # $EA_{pd} B^{стунінь} A_{pd} N_{sg,cc} N_{sg,cc}^{pronoun} R_{sg,3,pr} DA_{pd} N_{sg,cc} EDA_{pd} N_{sg,pc} EA_{pd} A_{pd} N_{sg,cc} \#$
22. (IV.15) # $In A_{pd} B^{стунінь} A_{pd} N_{sg,cc} N_{sg,cc}^{pronoun} R_{sg,3,pr} DA_{pd} N_{sg,cc} EDA_{pd} N_{sg,pc} EA_{pd} A_{pd} N_{sg,cc} \#$
23. (IV.20) # $In his B^{стунінь} A_{pd} N_{sg,cc} N_{sg,cc}^{pronoun} R_{sg,3,pr} DA_{pd} N_{sg,cc} EDA_{pd} N_{sg,pc} EA_{pd} A_{pd} N_{sg,cc} \#$
24. (IV.11) # $In his most A_{pd} N_{sg,cc} N_{sg,cc}^{pronoun} R_{sg,3,pr} DA_{pd} N_{sg,cc} EDA_{pd} N_{sg,pc} EA_{pd} A_{pd} N_{sg,cc} \#$
25. (IV.2) # $In his most important N_{sg,cc} N_{sg,cc}^{pronoun} R_{sg,3,pr} DA_{pd} N_{sg,cc} EDA_{pd} N_{sg,pc} EA_{pd} A_{pd} N_{sg,cc} \#$
26. (IV.5) # $In his most important work, N_{sg,cc}^{pronoun} R_{sg,3,pr} DA_{pd} N_{sg,cc} EDA_{pd} N_{sg,pc} EA_{pd} A_{pd} N_{sg,cc} \#$
27. (IV.14) # $In his most important work, he R_{sg,3,pr} DA_{pd} N_{sg,cc} EDA_{pd} N_{sg,pc} EA_{pd} A_{pd} N_{sg,cc} \#$
28. (IV.10) # $In his most important work, he shows DA_{pd} N_{sg,cc} EDA_{pd} N_{sg,pc} EA_{pd} A_{pd} N_{sg,cc} \#$
29. (IV.9) # $In his most important work, he shows the A_{pd} N_{sg,cc} EDA_{pd} N_{sg,pc} EA_{pd} A_{pd} N_{sg,cc} \#$

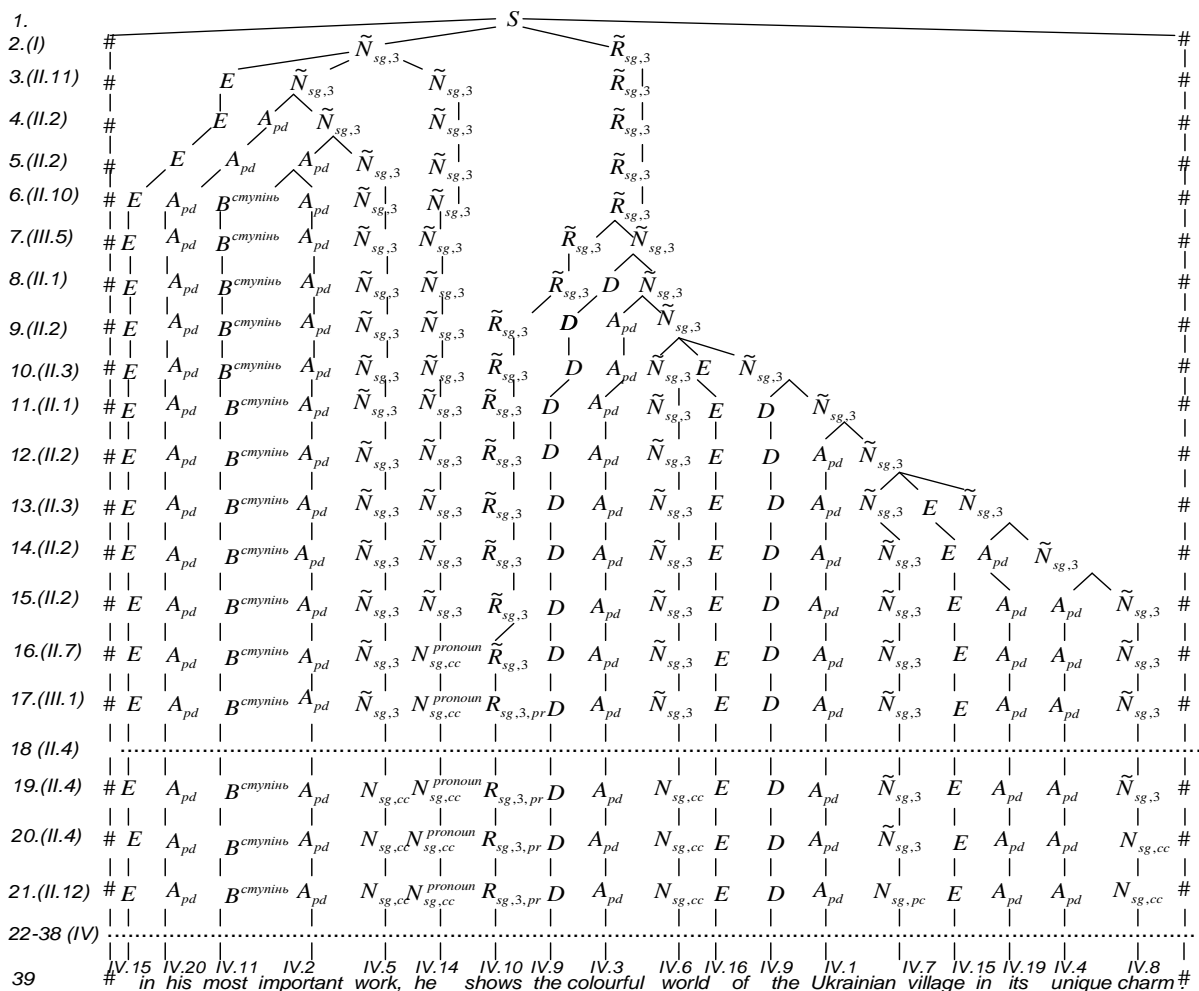


Рис. 2. Виведення в контекстно-залежній граматиці G_1 для генерування речення англійською мовою

30. (IV.3) # In his most important work, he shows the colourful $N_{sg,cc}EDA_{pd}N_{sg,pc}EA_{pd}A_{pd}N_{sg,cc}$ #
 31. (IV.6) # In his most important work, he shows the colourful world $EDA_{pd}N_{sg,pc}EA_{pd}A_{pd}N_{sg,cc}$ #
 32. (IV.16) # In his most important work, he shows the colourful world of $DA_{pd}N_{sg,pc}EA_{pd}A_{pd}N_{sg,cc}$ #
 33. (IV.9) # In his most important work, he shows the colourful world of the $A_{pd}N_{sg,pc}EA_{pd}A_{pd}N_{sg,cc}$ #
 34. (IV.1) # In his most important work, he shows the colourful world of the Ukrainian $N_{sg,pc}EA_{pd}A_{pd}N_{sg,cc}$ #
 35. (IV.7) # In his most important work, he shows the colourful world of the Ukrainian village $EA_{pd}A_{pd}N_{sg,cc}$ #
 36. (IV.15) # In his most important work, he shows the colourful world of the Ukrainian village in $A_{pd}A_{pd}N_{sg,cc}$ #
 37. (IV.19) # In his most important work, he shows the colourful world of the Ukrainian village in its $A_{pd}N_{sg,cc}$ #
 38. (IV.4) # In his most important work, he shows the colourful world of the Ukrainian village in its unique $N_{sg,cc}$ #
 39. (IV.8) # In his most important work, he shows the colourful world of the Ukrainian village in its unique charm #

Кожен крок виведення полягає в розгортанні одного з символів попереднього ланцюжка (так, при переході від ланцюжка 2 до ланцюжка 3 символ $\tilde{N}_{pl,3}$ розгортається в символи $D, A_{pd}, N_{pl,cc}$) або в заміні його іншим (наприклад, при переході від ланцюжка 7 до ланцюжка 8 символ B замінюється на $B^{стунінь}$), інші ж символи переписуються без зміни. Граматика G_1 здатна породжувати й інші фрази (які не обов'язково є змістовними), наприклад: # In his most important work, he shows the colourful colourful colourful world of the Ukrainian and Ukrainian and Ukrainian and Ukrainian village in its unique unique charm # тощо. Граматика G_1 породжує нескінченно багато різних фраз, оскільки до її складу входять циклічні правила (наприклад, П.2 і/або П.6). Особливість правила: результат його застосування містить входження його лівої частини, що приводить до нескінченної кількості фраз, і множина всіх цих фраз нескінченна.

II. Процес виведення термінального ланцюжка німецькою, для якого основними синтаксичними категоріями є іменна та дієслівна групи [25, 30, 31, 35, 44]. Алфавітом є іменникова група, дієслівна група та їх складові (нетермінальні символи), а також лексичний запас німецької мови (термінальні символи). Усі можливі перетворення термінальних символів у нетермінальні є множиною правил. Під час виведення отримуємо незліченну кількість термінальних ланцюжків. Така граматика є необмеженою, і через свою складність застосування не матиме. Система порядку слів у німецькій мові не є абсолютно зв'язною, фіксоване розташування слів стосується лише позиції дієслівної групи. Розташування іменної групи та інших синтаксичних форм є порівняно нефіксованим [44], а тому допускає і більше структурних видозмін схеми речення. Введемо структурні схеми іменної та дієслівної груп одразу з певними обмеженнями (спрощеннями). Наприклад, для **простого розповідного** речення німецької мови основними синтаксичними категоріями є іменна та дієслівна групи [25]. **Іменна група \tilde{N}** має таку структуру (тут і надалі у квадратних дужках зазначено необов'язкові елементи, у фігурних дужках – елементи, які можуть повторюватись):

$$\tilde{N} = [D][\{\tilde{A}\}]N[\tilde{E}], \text{ або } \tilde{N} = N^p. \quad (9)$$

де D – визначник, \tilde{A} – прикметникова група, A – прикметник, N – іменник, E – прийменник, \tilde{E} – прийменникова група. **Визначник** – це граматичний клас (строго кажучи, не частина мови), до якого належать слова, що уточнюють іменну групу з погляду визначеності, кількості тощо. **Визначником** у німецькій мові можуть служити артиклі, присвійні та вказівні займенники, кількісні прикметники та іменники у присвійному відмінку. **Прикметникова група \tilde{A}** має таку структуру:

$$\tilde{A} = [\{\tilde{A}_v\}]A[\tilde{E}], \quad (10)$$

де B – прислівник, A – прикметник, E – прийменник, \tilde{E} – **прийменникова група**, яка є

$$\tilde{E} = E\tilde{N}. \quad (11)$$

Іменна група має сукупність граматичних ознак її елементів, тобто основними граматичними характеристиками іменної групи в німецькій мові є рід, число, відмінок іменника, відмінок займенника, ступінь порівняння, особа [35]. **Дієслівна група \tilde{R}** має таку структуру:

$$\tilde{R} = R_v[\tilde{B}][\{\tilde{N}\}], \quad (12)$$

де R_V – дієслівний вираз, \tilde{B} – прислівникова група. Дієслівна група \tilde{R} в німецькій мові є більш ємною порівняно з дієсловною групою української мови внаслідок формального включення до неї модальних членів, часток, заперечень та охоплення групою дієслова всіх частин речення, за винятком першого місця [35]. Нормативність вербальної рамки є стійкою ознакою синтаксичної структури німецького речення. Існує три види вербальних рамок: аналітичні форми дієслова (допоміжне дієслово + основне дієслово, основне дієслово + інфінітив іншого дієслова, дієслово + відокремлюваний префікс), основне дієслово + іменник, основне дієслово + прислівник [35]. Дієслівний вираз R_V складається лексичних, допоміжних та модальних дієслів (тут і надалі R – скорочення для дієслова):

$$R_V = [R_V^M][R_V^D][N_V^S]R[R_V^I][P_V^R], \quad (13)$$

де R_V^M – модальне дієслово, R_V^D – допоміжне дієслово, N_V^S – заперечення, R – основне дієслово, R_V^I – інфінітив дієслова, P_V^R – префікс дієслова. Прислівникова група \tilde{B} має таку структуру:

$$\tilde{B} = \{B\}[\{\tilde{E}\}]. \quad (14)$$

Основними граматичними характеристиками дієслівної групи в німецькій мові є особа, число, час, вид, спосіб, стан. Узгоджуються дієслівна та іменникова групи за особою та числом (табл. 8).

Таблиця 8

Приклади для генерування термінального ланцюжка німецькою

Назва	Приклад
\tilde{N}	Die meisten Familien wohnen in Mietwohnungen, manche jedoch in ihren eigenen Häusern in Vorstädten (більшість сімей проживають в орендованому житлі, але деякі в своїх власних будинках в передмісті). Er haben ein großes Wohnzimmer in ihrem Einzelhaus (він має велику вітальню в своєму особистому будинку). Ich weiß genau, dass dieses Bergwerk seit dem X. Jahrhundert existiert (я дуже добре знаю, що ця шахта з X століття існує). Ich bin Ingenieur von Beruf (я інженер). Ich erzähle dir eine Geschichte (я розповідаю тобі історію). Meine Frau erinnert sich an mich (Моя жінка мене згадує). Der Versuch verlief so, wie unser Leiter vorausgesagt hatte (спроба була така, як наш лідер передбачав).
\tilde{A}	Adjektive machen etwa ein Sechstel des gesamten deutschen Wortschatzes aus (прикметники становлять близько однієї шостої всієї німецької лексики).
\tilde{E}	Die Rudermannschaft, die zum ersten Mal am Wettkampf teilnimmt, hat die besten Ruderer überholt (команда з греблі, яка бере участь вперше в конкурсі, обігнала кращих веслярів). Indem man die beiden Pole eines galvanischen Elements verbindet, entsteht ein elektrischer Strom (при підключенні двох полюсах гальванічного елемента є електричний струм). Er teilte uns mit , dass die Versuche erfolgreich waren, worüber wir uns sehr freuten (він повідомив нам, що спроби були успішними, тому ми були дуже щасливі). Er studiert an der historischen Fakultät , weil er sich sehr für die Geschichte interessiert (він навчався на факультеті історії, тому що він дуже зацікавлений в цій історії).
\tilde{R}	Ich liebe diesen Roman so , dass ich einzelne Episoden daraus immer wieder lese . (я люблю цей роман, так що я завжди читаю один епізод з нього). Ich machte schon die Tür zu (я вже зачинив двері). Falls du ihn noch triffst, grüße ihn von mir (якщо ти його зустрінеш, то передай вітання). Das Auto ist schon so lange her vorgefahren (машина вже давно під'їхала). Der Gott hatte alles zerstört (Бог все знищив).
R_V	Ich gab ihr das Buch, damit sie es las (я дав їй книгу, щоб вона її прочитала). Wenn ich nach Lviv kommen werde, werde ich dich jedes Mal anrufen (якщо я прийду до Львова, я буду називати вас кожен раз). Kannst du etwas nicht verstehen , so musst du mich fragen (не можете ви щось зрозуміти, ви повинні запитати мене). Du hast mich gefragt , und ich habe nichts gesagt (ти мене спитав, а я тобі не відповів). Du wirst bedauern (ти пожалкуєш). Man spricht , dass er kommt (говорять, він прийшов). Es friert (морозить). Er kommt , ich glaube (я маю надію, він прийде). Ich weiß nicht , ob er kommt (я не знаю, чи він прийде). Die Vögel haben nicht gesungen (птахи не співали). Du wirst bald eine Kugel bekommen (скоро тебе застелять). Du wirst bald eine Kugel bekommen haben (скоро ти отримаєш кулю).
\tilde{B}	Dort, wohin wir fahren wollen, wird bald eine neue Stadt entstehen (там, хочуть йти туди, де незабаром буде нове місто). Die Errungenschaften unserer Brigade sind insofern von Bedeutung , als sie uns zu weiteren Forschungen anspornen (досягнення нашої бригади важливі остільки, оскільки вони надихають нас на подальші дослідження).

Введемо позначення граматичних категорій спрощених іменної та дієслівної груп (у дужках – еквівалент німецькою). Категорія особи – це граматична категорія особового займенника, який опущено у спрощеній формі речення. Проте цю категорію необхідно визначати для іменників, що вживаються, з метою узгодження вживання дієслівної групи.

Граматичні категорії іменної групи (Substantive): число (Numerus): одна (Einzahl, Singular), множина (Plural); рід (Genus): чоловічий (Maskulinum), середній (Neutrum), жіночий (Femininum); відмінок (Kasus): називний (der Nominativ), родовий (der Genitiv), давальний (der Dativ), знахідний (der Akkusativ); особа (Person Substantiv): 1-ша (erste Person Substantiv), 2-га (zweite Person Substantiv), 3-тя (dritte Person Substantiv); займенник (Das Pronomen).

Граматичні категорії дієслівної групи (Verben): особа (Person Substantiv): 1-ша (erste Person Substantiv), 2-га (zweite Person Substantiv), 3-тя (dritte Person Substantiv); число (Numerus): одна (Einzahl, Singular), множина (Plural); час (Verbformen): простий дійсний (Präsens), простий минулий (Präteritum), складний минулий (Perfekt), складний минулий (Plusquamperfekt), майбутній (Futur I), складний майбутній (Futur II). Розглядатимемо спрощену структурну схему **іменної групи** \tilde{N} :

$$\tilde{N} = [\{\tilde{A}\}]N[\tilde{E}], \text{ або } \tilde{N} = N^p. \quad (15)$$

Основними граматичними характеристиками іменної групи в німецькій мові є рід, число, відмінок, особа [25, 30-31, 35, 42]. Стійкою ознакою синтаксичної будови німецького речення є його рамкова структура, виділяють три види вербальних рамок [35].

Розглянемо таку структурну схему **дієслівної групи** \tilde{R} .

$$\tilde{R} = R[\{\tilde{N}\}]. \quad (16)$$

Основними граматичними характеристиками дієслівної групи в німецькій мові є особа, число, час. Узгоджуються дієслівна та іменникова групи за родом, числом, відмінком і особою [25, 35, 42]. Розглянемо наступне речення. *In seinem bedeutendsten Werk, in der Gedichtsammlung "Kobsar", zeigt er, Taras Schewtschenko, die bunte welt des ukrainischen Dorfes in ihrem einmaligen Reiz* [25]. (У своїй найбільш важливій роботі, в антології «Кобзар», він, Тарас Шевченко, показує барвистий світ українського села в їх неповторній привабливості.) Для спрощення скоротимо фразу до наступного вигляду. *In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte welt des ukrainischen Dorfes in ihrem einmaligen Reiz*. Для німецької мови рядок II.1 з (табл. 9) формує 288 правил:

$$\tilde{N}_{m,einz,nom,3} \rightarrow \tilde{N}_{m,einz,nom,3} \tilde{N}_{m,einz,gen,1}; \tilde{N}_{m,einz,gen,3} \rightarrow \tilde{N}_{m,einz,gen,3} \tilde{N}_{m,einz,gen,1}; \dots;$$

$$\tilde{N}_{n,plur,akk,3} \rightarrow \tilde{N}_{n,plur,akk,3} \tilde{N}_{n,plur,akk,3}$$

де m – Maskulinum (чоловічий рід), $einz$ – Einzahl (однина), nom – Nominativ (називний відміннок), gen – Genitiv (родовий відміннок), n – Neutrum (середній рід), akk – Akkusativ (знахідний відміннок), $plur$ – Plural (множина), 1 – erste Person Substantiv (перша особа іменника), 3 – dritte Person Substantiv (третя особа іменника). В табл. 9 подані правила формулювання речень німецькою мовою.

Таблиця 9

Загальні правила генерування термінального ланцюжка німецькою мовою

№	Вибір	Правило
1	2	3
I.	S	1) $S \rightarrow \# \tilde{N}_{x,y,nom,w} \tilde{R}_{y,pr,w} \#$. 2) $S \rightarrow \# \tilde{N}_{x,y,dat,w} \tilde{R}_{y,pr,w} \#$
II.	\tilde{N}	1) $\tilde{N}_{x,y,z,3} \rightarrow \tilde{N}_{x,y,z,3} \tilde{N}_{x',y',gen,w}$; 2) $\tilde{N}_{x,y,z,3} \rightarrow A_{x,y,z} \tilde{N}_{x,y,z,3}$; 3) $K_1 \tilde{N}_{x,y,z,w} K_2 \rightarrow K_1 \tilde{N}_{x,y,z,w}^{pron} K_2$, де K_1 – символ, відмінний від $A_{x,y,z}$, а K_2 – символ, відмінний від символу з індексом $z' = gen$. Символи K_1 і K_2 тут є контекстними обмеженнями, тобто що головний член \tilde{N} не повинен реалізуватися особистим займенником, якщо йому передє визначення з погодженим A , або якщо за ним слідує \tilde{N} в родовому відмінку, наприклад, неможливість <i>neu ich</i> (новий я) або <i>er Zärtlichkeit</i> (він ніжності). У поетичній мові подібні поєднання припускають. 4) $\tilde{N}_{x,y,z,3} \rightarrow N_{x,y,z}$; 5) $\tilde{N}_{x,y,z,3} \rightarrow \tilde{N}_{x,y,z,3} \tilde{N}_{x',y',akk,w}$; 6) $\tilde{N}_{x,y,z,3} \rightarrow \tilde{N}_{x,y,z,3} \tilde{N}_{x',y',dat,w}$.

1	2	3
III.	\tilde{R}	1) $\tilde{R}_{y,pr,w} \rightarrow R_{y,pr,w} \tilde{N}_{x',y',akk,w'} \tilde{N}_{x'',y'',gen,w''}$ 6) $\tilde{R}_{y,pr,w} \rightarrow R_{y,pr,w} \tilde{N}_{x',y',akk,w'} \tilde{N}_{x'',y'',gen,w''} \tilde{N}_{x''',y''',dat,w'''}$ 2) $\tilde{R}_{y,pr,w} \rightarrow R_{y,pr,w} \tilde{N}_{x',y',gen,w'} \tilde{N}_{x'',y'',akk,w''}$ 7) $\tilde{R}_{y,pr,w} \rightarrow R_{y,pr,w} \tilde{N}_{x',y',dat,w'} \tilde{N}_{x'',y'',akk,w''} \tilde{N}_{x''',y''',dat,w'''}$ 3) $\tilde{R}_{y,pr,w} \rightarrow R_{y,pr,w} \tilde{N}_{x',y',akk,w'}$ 8) $\tilde{R}_{y,pr,w} \rightarrow R_{y,pr,w} \tilde{N}_{x',y',dat,w'} \tilde{N}_{x'',y'',dat,w''} \tilde{N}_{x''',y''',akk,w'''}$ 4) $\tilde{R}_{y,pr,w} \rightarrow R_{y,pr,w} \tilde{N}_{x',y',akk,w'} \tilde{N}_{x'',y'',dat,w''}$ 9) $\tilde{R}_{y,pr,w} \rightarrow R_{y,pr,w} \tilde{N}_{x',y',akk,w'} \tilde{N}_{x'',y'',dat,w''} \tilde{N}_{x''',y''',dat,w'''}$ 5) $\tilde{R}_{y,pr,w} \rightarrow R_{y,pr,w} \tilde{N}_{x',y',dat,w'} \tilde{N}_{x'',y'',akk,w''}$ 10) $\tilde{R}_{y,pr,w} \rightarrow R_{y,pr,w} \tilde{N}_{x',y',nom,w'}$
IV.	слова	1) $N_{m,y,z} \rightarrow Reiz_{y,z}$ (привабливість); 7) $A_{x,y,z} \rightarrow sein_{x,y,z}$ (свій); 8) $A_{x,y,z} \rightarrow ihr_{x,y,z}$ 2) $N_{f,y,z} \rightarrow Welt_{y,z}$ (світ); (їхній); 3) $N_{n,y,z} \rightarrow Werk_{y,z}$ (робота); 9) $A_{x,y,z} \rightarrow bedeutend_{x,y,z}$ (важливий); 4) $N_{n,y,z} \rightarrow Dorf_{y,z}$ (село); 10) $A_{x,y,z} \rightarrow bunt_{x,y,z}$ (барвистий); 5) $N_{x,einz,z,1}^{pron} \rightarrow er_z$ (він); 11) $A_{x,y,z} \rightarrow ukrainisch_{x,y,z}$ (український); 6) $N_{x,plur,z,3}^{pron} \rightarrow sie_z$ (вони); 12) $A_{x,y,z} \rightarrow einmalig_{x,y,z}$ (неповторний); 13) $V_{y,pr,w} \rightarrow zeigen_{y,pr,w}$ (показати).

У табл. 10, 11 подано позначення граматичних категорій спрощених для іменної та дієслівної груп (у дужках – еквівалент німецькою мовою, після «/» є використувані позначення). Скороченим позначеннями іменної групи є $\tilde{N}_{GN,NR,KS,PR}$, а її складових – $A_{GN,NR,KS}$, $\tilde{N}_{GN,NR,KS,PR}$, $N_{GN,NR,KS,PR}^{pron}$, тобто

$$P = \{ \tilde{N}_{GN,NR,KS,PR} \rightarrow A_{GN,NR,KS} \tilde{N}_{GN,NR,KS,PR}, \tilde{N}_{GN,NR,KS,PR} \rightarrow N_{GN,NR,KS}, \tilde{N}_{GN,NR,KS,PR} \rightarrow N_{GN,NR,KS,PR}^{pron} \}.$$

Скороченим позначеннями дієслівної групи є $\tilde{R}_{NR,VF,PR}$, її складової – $R_{NR,VF,P}$, тобто

$$P = \{ \tilde{R}_{NR,VF,PR} \rightarrow \tilde{R}_{NR,VF,PR} \tilde{N}_{GN',NR',KS,PR'}, \tilde{R}_{NR,VF,PR} \rightarrow R_{NR,VF,PR}, \tilde{N}_{GN,NR,KS,PR} \rightarrow A_{GN,NR,KS} \tilde{N}_{GN,NR,KS,PR}, \tilde{N}_{GN,NR,KS,PR} \rightarrow N_{GN,NR,KS}, \tilde{N}_{GN,NR,KS,PR} \rightarrow N_{GN,NR,KS,PR}^{pron} \}.$$

Таблиця 10

Позначення граматичних категорій іменної групи та її складових у німецькій мові

Тип	Опис
Іменна група/ \tilde{N}	займенник (das Pronomen)/ N^{pron} , прикметник (Adjektiv)/A, іменник (Substantiv)/N;
Число (Numerus)/NR	однина (Einzahl, Singular)/sg, множина (Plural)/pl;
Рід (Genus)/GN	чоловічий (Maskulinum)/mg, середній (Neutrum)/ng, жіночий (Femininum)/fg;
Відмінок (Kasus)/KS	називний (der Nominativ)/nk, родовий (der Genitiv)/gk, давальний (der Dativ)/dk, знахідний (der Akkusativ)/ak;
Особа (Person)/PR	1-ша (erste Person)/1, 2-га (zweite Person)/2, 3-тя (dritte Person)/3.

Таблиця 11

Позначення граматичних категорій дієслівної групи та її складових у німецькій мові

Тип	Опис
Дієслівна група/ \tilde{R}	дієслово (Verben)/R, іменник (Substantiv)/N;
Особа (Person)/PR	1-ша (erste Person)/1, 2-га (zweite Person)/2, 3-тя (dritte Person)/3;
Число (Numerus)/NR	однина (Einzahl, Singular)/sg, множина (Plural)/pl;
Час (Verbformen)/VF	простий дійсний (Präsens)/pr, простий минулий (Präteritum)/pt, складний минулий (Perfekt)/pt, складний минулий (Plusquamperfekt)/pl, майбутній (Futur I)/ft, складний майбутній (Futur II)/fr.

Спосіб подання граматики, що виводить речення введеної структурної схеми німецькою мовою наведено на прикладі речення *In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte Welt des ukrainischen Dorfes in ihrem einmaligen Reiz.* (У своїй найбільш важливій роботі він показує барвистий світ українського села в його неповторній привабливості.) [25]. Розіб'ємо речення на складові для знаходження залежностей, які наведені в табл. 12.

1	2	3	4	5	6
Dativ	Präsens	Nominativ	Akkusativ	Genitiv	Dativ
Substantive	Verben	Pronomen	Substantive	Substantive	Substantive
In seinem bedeutendsten Werk	zeigt	er	die bunte Welt	des ukrainischen Dorfes	in ihrem einmaligen Reiz

Таблиця 12

Виведення термінальних ланцюжків німецькою мовою

№	Ланцюжок	Правило	Номер
1	In seinem bedeutendsten Werk zeigt	$S \rightarrow \# \tilde{N}_{GN,NR,dk,PR} \tilde{R}_{NR,pr,PR} \#$	(I.2)
2	zeigt er	$\tilde{R}_{NR,pr,PR} \rightarrow \tilde{R}_{NR,pr,PR} \tilde{N}_{GN',NR',nk,PR'}$	(III.2)
3	zeigt die bunte Welt	$\tilde{R}_{NR,pr,PR} \rightarrow \tilde{R}_{NR,pr,PR} \tilde{N}_{GN',NR',ak,PR'}$	(III.1)
4	die bunte Welt des ukrainischen Dorfes	$\tilde{N}_{GN,NR,PR,3} \rightarrow \tilde{N}_{GN,NR,PR,3} \tilde{N}_{GN',NR',gk,PR}$	(II.1)
5	zeigt in ihrem einmaligen Reiz	$\tilde{R}_{NR,pr,PR} \rightarrow \tilde{R}_{NR,pr,PR} \tilde{N}_{GN',NR',dk,PR'}$	(III.3)

Розглянемо граматику $G_2=(V, T, S, P)$, де алфавіт $V=(S, \tilde{N}, \tilde{R}, D, A, N, R, Q, E, B, \#, \text{sein, bedeutend, Werk, zeigt, er, bunt, welt, ukrainisch, Dorf, ihr, einmalig, Reiz})$, $T=(\#, \text{sein, bedeutend, Werk, zeigt, er, bunt, welt, ukrainisch, Dorf, ihr, einmalig, Reiz})$, $\#$ – символ межі речення, S – початковий символ. Множину правил P подамо у вигляді табл. 13.

Таблиця 13

Загальні правила генерування термінального ланцюжка німецькою мовою

№	Вибір	Правила
I.	S	1) $S \rightarrow \# \tilde{N}_{GN,NR,nk,PR} \tilde{R}_{NR,pr,PR} \#$; 2) $S \rightarrow \# \tilde{N}_{GN,NR,dk,PR} \tilde{R}_{NR,pr,PR} \#$.
II.	\tilde{N}	1) $\tilde{N}_{GN,NR,KS,3} \rightarrow \tilde{N}_{GN,NR,KS,3} \tilde{N}_{GN',NR',gk,PR}$; 2) $\tilde{N}_{GN,NR,KS,3} \rightarrow A_{GN,NR,KS} \tilde{N}_{GN,NR,KS,3}$; 3) $\tilde{N}_{GN,NR,KS,3} \rightarrow N_{GN,NR,KS}$; 4) $K_1 \tilde{N}_{GN,NR,KS,PR} K_2 \rightarrow K_1 N_{GN,NR,KS,PR}^{pron} K_2$, де символ K_1 відмінний від $A_{GN,NR,KS}$, а K_2 – від символу $N_{GN,NR,gk}$, наприклад, неможливість виведення ланцюжка <i>lächelt Sie</i> (усміхненій ти) або <i>ich Freude</i> (я радості); 5) $\tilde{N}_{GN,NR,KS} \rightarrow \tilde{N}_{GN,NR,KS} Q \tilde{N}_{GN,NR,KS}$; 6) $\tilde{N}_{GN,NR,KS} \rightarrow D_{GN,NR,KS,PR} \tilde{N}_{GN,NR,KS}$; 7) $A_{GN,NR,KS} \rightarrow B^{смунинь} A_{GN,NR,KS}$; 8) $\tilde{N}_{GN,NR,KS} \rightarrow \tilde{N}_{GN,NR,KS} E \tilde{N}_{GN,NR,KS}$; 9) $\tilde{N}_{GN,NR,KS} \rightarrow E \tilde{N}_{GN,NR,KS}$.
III.	\tilde{R}	1) $\tilde{R}_{NR,pr,PR} \rightarrow \tilde{R}_{NR,pr,PR} \tilde{N}_{GN',NR',ak,PR'}$; 2) $\tilde{R}_{NR,pr,PR} \rightarrow \tilde{R}_{NR,pr,PR} \tilde{N}_{GN',NR',nk,PR'}$; 3) $\tilde{R}_{NR,pr,PR} \rightarrow \tilde{R}_{NR,pr,PR} \tilde{N}_{GN',NR',dk,PR'}$; 4) $\tilde{R}_{NR,pr,PR} \rightarrow R_{NR,pr,PR}$; 5) $B \rightarrow BQB$; 6) $B \rightarrow BB$.
IV.	слова	1) $N_{mg,NR,KS} \rightarrow Reiz_{NR,KS}$ (привабливість); 2) $N_{fg,NR,KS} \rightarrow Welt_{NR,KS}$ (світ); 3) $N_{ng,NR,KS} \rightarrow Werk_{NR,KS}$ (робота); 4) $N_{ng,NR,KS} \rightarrow Dorf_{NR,KS}$ (село); 5) $N_{mg,sg,KS,1}^{pron} \rightarrow er_{KS}$ (він); 6) $A_{GN,NR,KS} \rightarrow sein_{GN,NR,KS}$ (свій); 7) $A_{GN,NR,KS} \rightarrow ihr_{GN,NR,KS}$ (їхній); 8) $A_{GN,NR,KS} \rightarrow bedeutend_{GN,NR,KS}$ (важливий); 9) $A_{GN,NR,KS} \rightarrow bunt_{GN,NR,KS}$ (барвистий); 10) $A_{GN,NR,KS} \rightarrow ukrainisch_{GN,NR,KS}$ (український); 11) $A_{GN,NR,KS} \rightarrow einmalig_{GN,NR,KS}$ (неповторний); 12) $R_{NR,pr,PR} \rightarrow zeigen_{NR,pr,PR}$ (показати); 13) $D \rightarrow das, die, der$ (означений артикль); 14) $Q \rightarrow und$ (і); 15) $E \rightarrow in$ (в); 16) $B^{смунинь} \rightarrow meisten, esten$ (найбільш).

Виведення речення заданої структурної схеми подано нижче. Графічно виведення в граматиці G_2 для генерування німецького речення подано на рис. 3.

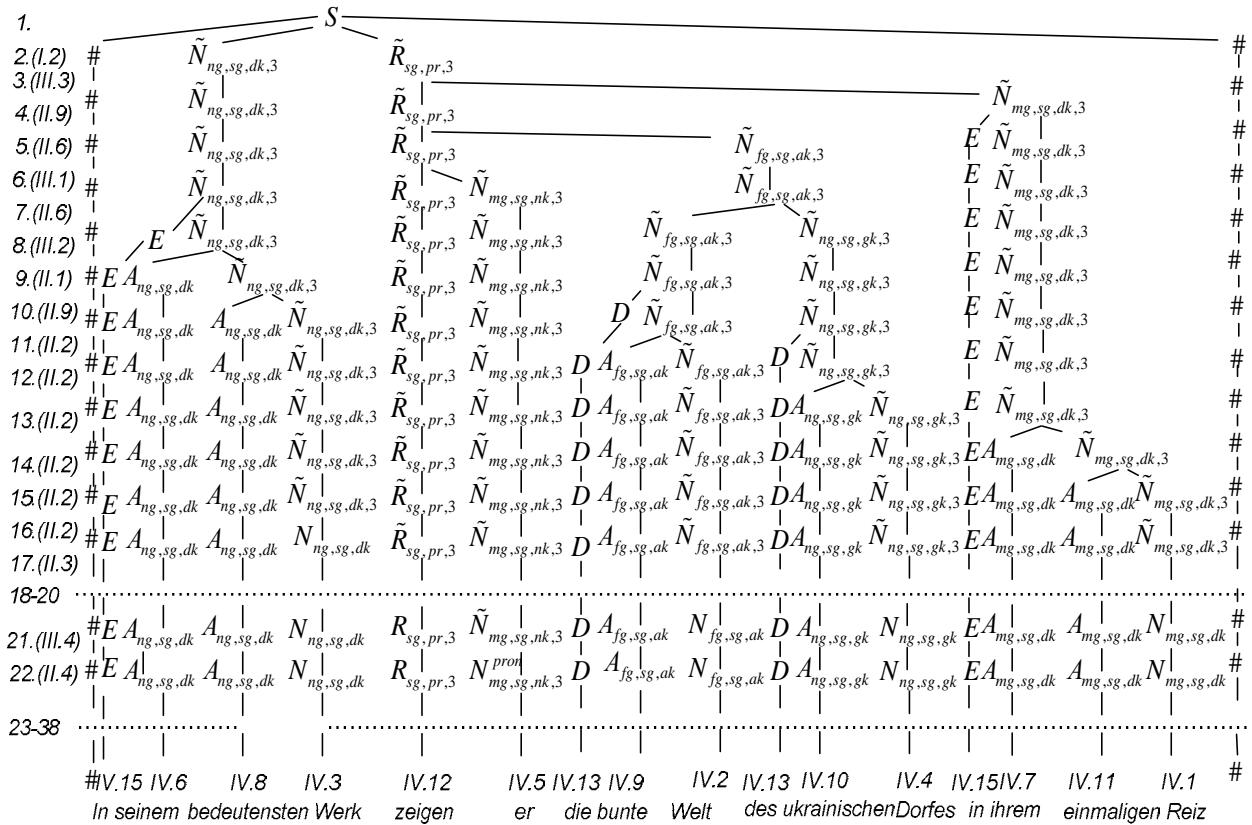


Рис. 3. Виведення в контекстно-залежній граматиці G_2 для генерування речення німецькою мовою

1. S
2. (I.2) # $\tilde{N}_{ng,sg,dk,3}$ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ #
3. (III.3) # $\tilde{N}_{ng,sg,dk,3}$ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ $\tilde{N}_{mg,sg,dk,3}$ #
4. (II.9) # E $\tilde{N}_{ng,sg,dk,3}$ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ $\tilde{N}_{mg,sg,dk,3}$ #
5. (II.6) # E $\tilde{N}_{ng,sg,dk,3}$ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ D $\tilde{N}_{mg,sg,dk,3}$ #
6. (III.1) # E $\tilde{N}_{ng,sg,dk,3}$ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ D $\tilde{N}_{fg,sg,ak,3}$ $\tilde{N}_{mg,sg,dk,3}$ #
7. (II.6) # E $\tilde{N}_{ng,sg,dk,3}$ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ D $\tilde{N}_{fg,sg,ak,3}$ D $\tilde{N}_{mg,sg,dk,3}$ #
8. (III.2) # E $\tilde{N}_{ng,sg,dk,3}$ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ $\tilde{N}_{mg,sg,nk,3}$ D $\tilde{N}_{fg,sg,ak,3}$ D $\tilde{N}_{mg,sg,dk,3}$ #
9. (II.1) # E $\tilde{N}_{ng,sg,dk,3}$ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ $\tilde{N}_{mg,sg,nk,3}$ D $\tilde{N}_{fg,sg,ak,3}$ D $\tilde{N}_{ng,sg,gk,3}$ $\tilde{N}_{mg,sg,dk,3}$ #
10. (II.9) # E $\tilde{N}_{ng,sg,dk,3}$ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ $\tilde{N}_{mg,sg,nk,3}$ D $\tilde{N}_{fg,sg,ak,3}$ D $\tilde{N}_{ng,sg,gk,3}$ E $\tilde{N}_{mg,sg,dk,3}$ #
11. (II.2) # E $A_{ng,sg,dk}$ $\tilde{N}_{ng,sg,dk,3}$ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ $\tilde{N}_{mg,sg,nk,3}$ D $\tilde{N}_{fg,sg,ak,3}$ D $\tilde{N}_{ng,sg,gk,3}$ E $\tilde{N}_{mg,sg,dk,3}$ #
12. (II.2) # E $A_{ng,sg,dk}$ $A_{ng,sg,dk}$ $\tilde{N}_{ng,sg,dk,3}$ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ $\tilde{N}_{mg,sg,nk,3}$ D $\tilde{N}_{fg,sg,ak,3}$ D $\tilde{N}_{ng,sg,gk,3}$ E $\tilde{N}_{mg,sg,dk,3}$ #
13. (II.2) # E $A_{ng,sg,dk}$ $A_{ng,sg,dk}$ $\tilde{N}_{ng,sg,dk,3}$ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ $\tilde{N}_{mg,sg,nk,3}$ D $A_{fg,sg,ak}$ $\tilde{N}_{fg,sg,ak,3}$ D $\tilde{N}_{ng,sg,gk,3}$ E $\tilde{N}_{mg,sg,dk,3}$ #
14. (II.2) # E $A_{ng,sg,dk}$ $A_{ng,sg,dk}$ $\tilde{N}_{ng,sg,dk,3}$ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ $\tilde{N}_{mg,sg,nk,3}$ D $A_{fg,sg,ak}$ $\tilde{N}_{fg,sg,ak,3}$ D $A_{ng,sg,gk}$ $\tilde{N}_{ng,sg,gk,3}$ E $\tilde{N}_{mg,sg,dk,3}$ #
15. (II.2) # E $A_{ng,sg,dk}$ $A_{ng,sg,dk}$ $\tilde{N}_{ng,sg,dk,3}$ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ $\tilde{N}_{mg,sg,nk,3}$ D $A_{fg,sg,ak}$ $\tilde{N}_{fg,sg,ak,3}$ D $A_{ng,sg,gk}$ $\tilde{N}_{ng,sg,gk,3}$ E $A_{mg,sg,dk}$ $\tilde{N}_{mg,sg,dk,3}$ #
16. (II.2) # E $A_{ng,sg,dk}$ $A_{ng,sg,dk}$ $\tilde{N}_{ng,sg,dk,3}$ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ $\tilde{N}_{mg,sg,nk,3}$ D $A_{fg,sg,ak}$ $\tilde{N}_{fg,sg,ak,3}$ D $A_{ng,sg,gk}$ $\tilde{N}_{ng,sg,gk,3}$ E $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $\tilde{N}_{mg,sg,dk,3}$ #

17. (II.3) # E $A_{ng,sg,dk}$ $A_{ng,sg,dk}$ $N_{ng,sg,dk}$ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ $\tilde{N}_{mg,sg,nk,3}$ D $A_{fg,sg,ak}$ $\tilde{N}_{fg,sg,ak,3}$ D $A_{ng,sg,gk}$ $\tilde{N}_{ng,sg,gk,3}$ E
 $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $\tilde{N}_{mg,sg,dk,3}$ #
18. (II.3) # E $A_{ng,sg,dk}$ $A_{ng,sg,dk}$ $N_{ng,sg,dk}$ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ $\tilde{N}_{mg,sg,nk,3}$ D $A_{fg,sg,ak}$ $N_{fg,sg,ak}$ D $A_{ng,sg,gk}$ $\tilde{N}_{ng,sg,gk,3}$ E
 $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $\tilde{N}_{mg,sg,dk,3}$ #
19. (II.3) # E $A_{ng,sg,dk}$ $A_{ng,sg,dk}$ $N_{ng,sg,dk}$ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ $\tilde{N}_{mg,sg,nk,3}$ D $A_{fg,sg,ak}$ $N_{fg,sg,ak}$ D $A_{ng,sg,gk}$ $N_{ng,sg,gk}$ E
 $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $\tilde{N}_{mg,sg,dk,3}$ #
20. (II.3) # E $A_{ng,sg,dk}$ $A_{ng,sg,dk}$ $N_{ng,sg,dk}$ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ $\tilde{N}_{mg,sg,nk,3}$ D $A_{fg,sg,ak}$ $N_{fg,sg,ak}$ D $A_{ng,sg,gk}$ $N_{ng,sg,gk}$ E
 $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $N_{mg,sg,dk}$ #
21. (III.4) # E $A_{ng,sg,dk}$ $A_{ng,sg,dk}$ $N_{ng,sg,dk}$ $R_{sg,pr,3}$ $\tilde{N}_{mg,sg,nk,3}$ D $A_{fg,sg,ak}$ $N_{fg,sg,ak}$ D $A_{ng,sg,gk}$ $N_{ng,sg,gk}$ E
 $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $N_{mg,sg,dk}$ #
22. (II.4) # E $A_{ng,sg,dk}$ $A_{ng,sg,dk}$ $N_{ng,sg,dk}$ $R_{sg,pr,3}$ $N_{mg,sg,nk,3}^{pron}$ D $A_{fg,sg,ak}$ $N_{fg,sg,ak}$ D $A_{ng,sg,gk}$ $N_{ng,sg,gk}$ E
 $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $N_{mg,sg,dk}$ #
23. (IV.15) # In $A_{ng,sg,dk}$ $A_{ng,sg,dk}$ $N_{ng,sg,dk}$ $R_{sg,pr,3}$ $N_{mg,sg,nk,3}^{pron}$ D $A_{fg,sg,ak}$ $N_{fg,sg,ak}$ D $A_{ng,sg,gk}$ $N_{ng,sg,gk}$ E
 $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $N_{mg,sg,dk}$ #
24. (IV.6) # In seinem $A_{ng,sg,dk}$ $N_{ng,sg,dk}$ $R_{sg,pr,3}$ $N_{mg,sg,nk,3}^{pron}$ D $A_{fg,sg,ak}$ $N_{fg,sg,ak}$ D $A_{ng,sg,gk}$ $N_{ng,sg,gk}$ E
 $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $N_{mg,sg,dk}$ #
25. (IV.8) # In seinem bedeutendsten $N_{ng,sg,dk}$ $R_{sg,pr,3}$ $N_{mg,sg,nk,3}^{pron}$ D $A_{fg,sg,ak}$ $N_{fg,sg,ak}$ D $A_{ng,sg,gk}$ $N_{ng,sg,gk}$ E
 $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $N_{mg,sg,dk}$ #
26. (IV.3) # In seinem bedeutendsten Werk $R_{sg,pr,3}$ $N_{mg,sg,nk,3}^{pron}$ D $A_{fg,sg,ak}$ $N_{fg,sg,ak}$ D $A_{ng,sg,gk}$ $N_{ng,sg,gk}$ E
 $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $N_{mg,sg,dk}$ #
27. (IV.12) # In seinem bedeutendsten Werk zeigt $N_{mg,sg,nk,3}^{pron}$ D $A_{fg,sg,ak}$ $N_{fg,sg,ak}$ D $A_{ng,sg,gk}$ $N_{ng,sg,gk}$ E
 $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $N_{mg,sg,dk}$ #
28. (IV.5) # In seinem bedeutendsten Werk zeigt er D $A_{fg,sg,ak}$ $N_{fg,sg,ak}$ D $A_{ng,sg,gk}$ $N_{ng,sg,gk}$ E $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $N_{mg,sg,dk}$ #
29. (IV.13) # In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die $A_{fg,sg,ak}$ $N_{fg,sg,ak}$ D $A_{ng,sg,gk}$ $N_{ng,sg,gk}$ E $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $N_{mg,sg,dk}$ #
30. (IV.9) # In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte $N_{fg,sg,ak}$ D $A_{ng,sg,gk}$ $N_{ng,sg,gk}$ E $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $N_{mg,sg,dk}$ #
31. (IV.2) # In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte Welt D $A_{ng,sg,gk}$ $N_{ng,sg,gk}$ E $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $N_{mg,sg,dk}$ #
32. (IV.13) # In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte Welt des $A_{ng,sg,gk}$ $N_{ng,sg,gk}$ E $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $N_{mg,sg,dk}$ #
33. (IV.10) # In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte Welt des ukrainischen $N_{ng,sg,gk}$ E $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $N_{mg,sg,dk}$ #
34. (IV.4) # In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte Welt des ukrainischen Dorfes E $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $N_{mg,sg,dk}$ #
35. (IV.15) # In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte Welt des ukrainischen Dorfes in $A_{mg,sg,dk}$ $A_{mg,sg,dk}$ $N_{mg,sg,dk}$ #
36. (IV.7) # In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte Welt des ukrainischen Dorfes in ihrem $A_{mg,sg,dk}$ $N_{mg,sg,dk}$ #
37. (IV.11) # In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte Welt des ukrainischen Dorfes in ihrem einmaligen $N_{mg,sg,dk}$ #
38. (IV.1) # In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte Welt des ukrainischen Dorfes in ihrem einmaligen Reiz #

Кожен крок виведення полягає в розгортанні одного з символів попереднього ланцюжка (так, при переході від ланцюжка 2 до ланцюжка 3 символ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ розгортається в символи $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ та $\tilde{N}_{mg,sg,dk,3}$) або в заміні його іншим (наприклад, при переході від ланцюжка 16 до ланцюжка 17 символ $\tilde{R}_{sg,pr,3}$ замінюється на $R_{sg,pr,3}$), інші ж символи переписуються без зміни. Граматика G_2 здатна породжувати й інші фрази, наприклад: # *In seinem seinem seinem seinem bedeutendsten bedeutendsten Werk zeigt er die bunte bunte Welt des ukrainischen Dorfes in ihrem ihrem ihrem ihrem einmaligen Reiz* # тощо. Граматика G_2 породжує нескінченно багато різних фраз, так як до її складу входять циклічні правила (наприклад, II.2).

III. Процес виведення термінального ланцюжка українською мовою [7, 10, 32, 33, 36, 44, 45], в якій властивий вільний порядок слів у реченні, що, проте, не заперечує існування сталого порядку розміщення окремих мовних елементів [19, 20, 32, 33, 36, 44, 45]. Для простого повного

речення з прямим порядком слів структурну схему вважатимемо фіксованою, основними синтаксичними категоріями такого речення будуть іменна та дієслівна групи [7, 10, 32, 33, 36, 44, 45]. Необмежена граматики, побудована на тих же засадах, що і у попередніх прикладах, не матиме застосування через свою складність. Для утворення контекстно-залежної граматики введемо певні обмеження, насамперед, на структуру речення. Ґрунтуючись на правилах побудови речень української мови з прямим порядком слів (наприклад, прикметник стоїть у препозиції до іменника, елементи іменникової групи групуються навколо іменника тощо) [7, 10, 32, 33, 36, 44, 45], розглянемо іменну групу \tilde{N} такої структурної схеми:

$$\tilde{N} = \{AN\} \text{ або } \tilde{N} = N^p \quad (17)$$

Прикметник та іменник в іменній групі узгоджуються між собою за відмінком, числом та родом [7, 19]. Ці граматичні категорії є також граматичними категоріями займенника.

Розглядатимемо дієслівну групу \tilde{R} такої структурної схеми:

$$\tilde{R} = R\tilde{N} \text{ або } \tilde{R} = \tilde{N}R \quad (18)$$

З огляду на граматичні характеристики дієслова в українській мові, узгодження між іменною та дієслівною групою відбувається за числом, родом та особою (табл. 14, 15).

Таблиця 14

Позначення граматичних категорій іменної групи та її складових в українській мові

Тип	Опис
Іменна група/ \tilde{N}	прикметник/ <i>A</i> , іменник/ <i>N</i> , займенник/ $N^{займ}$;
Число/ <i>ЧЛ</i>	однина/ <i>од</i> , множина/ <i>мн</i> ;
Рід/ <i>РД</i>	чоловічий/ <i>ч</i> , жіночий/ <i>ж</i> , середній/ <i>с</i> ;
Відмінок/ <i>ВД</i>	називний/ <i>н</i> , родовий/ <i>р</i> , давальний/ <i>д</i> , знахідний/ <i>з</i> , орудний/ <i>о</i> , місцевий/ <i>м</i> , кличний/ <i>к</i> ;
Особа/ <i>ОС</i>	1-ша/ <i>1</i> , 2-га/ <i>2</i> , 3-тя/ <i>3</i> .

Таблиця 15

Позначення граматичних категорій дієслівної групи та її складових в українській мові

Тип	Опис
Дієслівна група/ \tilde{R}	дієслово/ <i>R</i> , в межах іменної групи прикметник/ <i>A</i> , іменник/ <i>N</i> ;
Число/ <i>ЧЛ</i>	однина/ <i>од</i> , множина/ <i>мн</i> ;
Рід/ <i>РД</i>	чоловічий/ <i>ч</i> , жіночий/ <i>ж</i> , середній/ <i>с</i> ;
Особа/ <i>ОС</i>	1-ша/ <i>1</i> , 2-га/ <i>2</i> , 3-тя/ <i>3</i> ;
Час/ <i>ЧС</i>	теперішній/ <i>тп</i> , минулий/ <i>мн</i> , майбутній/ <i>мб</i> .

Розглядатимемо речення з іменною групою в третій особі і дієслівною групою в теперішньому часі. Скороченим позначеннями іменної групи є $\tilde{N}_{РД,ЧЛ,ВД,ОС}$, а її складових – $A_{РД,ЧЛ,ВД}$, $N_{РД,ЧЛ,ВД,ОС}$, $N_{РД,ЧЛ,ВД,ОС}^{займ}$. За потреби наголосити на використанні різних значень граматичних категорій використаємо такі позначки: дві іменні групи з різними значеннями категорії, наприклад, роду, позначатимемо так: $\tilde{N}_{РД,ЧЛ,ВД,ОС}$, $\tilde{N}_{РД',ЧЛ,ВД,ОС}$. Скороченим позначеннями дієслівної групи є $\tilde{R}_{РД,ЧЛ,ЧС,ОС}$, дієслова – $R_{РД,ЧЛ,ЧС,ОС}$. Реалізація норм та правил української мови впливає на подання перетворень. Наприклад, відомо, що найчастіше іменна група виражається іменником або займенником у називному відмінку, а форми дієслова у теперішньому часі для всіх родів однини збігаються (*він/вона/воно летить*), і врахування таких закономірностей відповідно відображається у позначеннях іменної та дієслівної груп – $\tilde{N}_{РД,ЧЛ,н,ОС}$ і $\tilde{R}_{ЧЛ,мн,ОС}$. Спосіб подання контекстно-залежної граматики, що виводить речення введеної структурної схеми (з урахуванням певних закономірностей української мови) наведемо на прикладі речення *У своїй найбільш важливій роботі він показує барвистий світ українського села в його неповторній привабливості*. Розглянемо граматику $G_3=(V, T, S, P)$. Алфавіт (позначення синтаксичних категорій подамо без індексів – для зручності) $V=(S, \tilde{N}, \tilde{R}, A, N, R, E, N^{займ}, \#, у, свій, найбільш, важливий, робота, він, показувати, барвистий, світ, український, село, в, неповторний, привабливість)$, $T=(\#, у, свій, найбільш, важливий, робота, він, показувати, барвистий, світ, український, село, в, неповторний, привабливість)$, $\#$ – символ межі речення, S – початковий символ. Множину правил P подамо у вигляді табл. 16. У правилах IV табл. 11 не враховано узгодження A з одухотвореним S у знахідному відмінку.

Правила формування речення українською мовою

№	Вибір	Правила
I.	S	$S \rightarrow \# \tilde{N}_{РД,ЧЛ,н,ОС} \tilde{R}_{ЧЛ,мн,ОС} \#$.
II.	\tilde{N}	1) $\tilde{N}_{РД,ЧЛ,ВД,3} \rightarrow \tilde{N}_{РД,ЧЛ,ВД,3} \tilde{N}_{РД',ЧЛ',р,ОС}$; 2) $\tilde{N}_{РД,ЧЛ,ВД,3} \rightarrow A_{РД,ЧЛ,ВД} \tilde{N}_{РД,ЧЛ,ВД,3}$; 3) $K_1 \tilde{N}_{РД,ЧЛ,ВД,ОС} K_2 \rightarrow K_1 N_{РД,ЧЛ,ВД,ОС}^{займ} K_2$, де K_1 – символ, відмінний від символу $A_{РД,ЧЛ,ВД}$, а K_2 – символ, відмінний від символу з індексом $ВД' = p$. Символи K_1 і K_2 є контекстними обмеженнями. Змістовний сенс їх введення в правило полягає в тому, що головний член іменної групи не повинен реалізовуватися особовим займенником, якщо йому передує означення, виражене узгодженим прикметником, або якщо за ним слідує іменна група в родовому відмінку (щоб уникнути словосполучень, наприклад, <i>прикордонний він</i> або <i>ми швидкості</i>); 4) $\tilde{N}_{РД,ЧЛ,ВД,3} \rightarrow N_{РД,ЧЛ,ВД}$; 5) $\tilde{N}_{РД,ЧЛ,ВД,3} \rightarrow E \tilde{N}_{РД,ЧЛ,ВД,3}$; 6) $\tilde{N}_{РД,ЧЛ,ВД,3} \rightarrow \tilde{N}_{РД,ЧЛ,ВД,3} \tilde{N}_{РД,ЧЛ,м,3}$.
III.	\tilde{R}	1) $\tilde{R}_{ЧЛ,мн,ОС} \rightarrow R_{ЧЛ,мн,ОС} \tilde{N}_{РД',ЧЛ',з,ОС} \tilde{N}_{РД',ЧЛ',о,ОС}$; 2) $\tilde{R}_{ЧЛ,мн,ОС} \rightarrow R_{ЧЛ,мн,ОС} \tilde{N}_{РД',ЧЛ',о,ОС} \tilde{N}_{РД',ЧЛ',з,ОС}$; 3) $\tilde{R}_{ЧЛ,мн,ОС} \rightarrow R_{ЧЛ,мн,ОС} \tilde{N}_{РД',ЧЛ',з,ОС}$; 4) $\tilde{R}_{ЧЛ,мн,ОС} \rightarrow R_{ЧЛ,мн,ОС} \tilde{N}_{РД',ЧЛ',о,ОС}$; 5) $\tilde{R}_{ЧЛ,мн,ОС} \rightarrow R_{ЧЛ,мн,ОС} E \tilde{N}_{РД,ЧЛ,м,3}$ 6) $\tilde{R}_{ЧЛ,мн,ОС} \rightarrow E \tilde{N}_{РД,ЧЛ,м,3} R_{ЧЛ,мн,ОС}$
IV.	слова	1) $N_{ж,ЧЛ,ВД} \rightarrow \text{робота}_{ЧЛ,ВД}, \text{привабливість}_{ЧЛ,ВД}, \dots$; 2) $N_{ч,ЧЛ,ВД} \rightarrow \text{світ}_{ЧЛ,ВД}, \dots$; 3) $N_{с,ЧЛ,ВД} \rightarrow \text{село}_{ЧЛ,ВД}, \dots$; 4) $N_{РД,од,ВД,1}^{займ} \rightarrow \text{він}_{ВД}$; 5) $A_{РД,ЧЛ,ВД} \rightarrow \text{свій}_{РД,ЧЛ,ВД}, \text{важливий}_{РД,ЧЛ,ВД}, \text{барвистий}_{РД,ЧЛ,ВД}, \dots$; 6) $A_{РД,ЧЛ,ВД} \rightarrow \text{український}_{РД,ЧЛ,ВД}, \text{найбільший}_{РД,ЧЛ,ВД}, \text{неповторний}_{РД,ЧЛ,ВД}, \dots$; 7) $E \rightarrow \text{в}, \text{у}, \dots$; 8) $R_{ЧЛ,мн,ОС} \rightarrow \text{показувати}_{ЧЛ,мн,ОС}, \dots$

Виведення речення заданої структурної схеми подано нижче. Приклад виведення в граматиці G_3 для генерування українського речення показано на рис. 4.

1. S
- 2.(I) $\# \tilde{N}_{ч,од,н,3} \tilde{R}_{од,тп,3} \#$
- 3.(II.6) $\# \tilde{N}_{ж,од,м,3} \tilde{N}_{ч,од,н,3} \tilde{R}_{од,тп,3} \#$
- 4.(II.5) $\# E \tilde{N}_{ж,од,м,3} \tilde{N}_{ч,од,н,3} \tilde{R}_{од,тп,3} \#$
- 5.(II.2) $\# E A_{ж,од,м} \tilde{N}_{ж,од,м,3} \tilde{N}_{ч,од,н,3} \tilde{R}_{од,тп,3} \#$
- 6.(II.2) $\# E A_{ж,од,д} A_{ж,од,м} \tilde{N}_{ж,од,м,3} \tilde{N}_{ч,од,н,3} \tilde{R}_{од,тп,3} \#$
- 7.(II.2) $\# E A_{ж,од,д} A_{ж,од,м} A_{ж,од,м} \tilde{N}_{ж,од,м,3} \tilde{N}_{ч,од,н,3} \tilde{R}_{од,тп,3} \#$
- 8.(III.3) $\# E A_{ж,од,д} A_{ж,од,м} A_{ж,од,м} \tilde{N}_{ж,од,м,3} \tilde{N}_{ч,од,н,3} R_{од,тп,3} \tilde{N}_{ч,од,з,3} \#$
- 9.(II.1) $\# E A_{ж,од,д} A_{ж,од,м} A_{ж,од,м} \tilde{N}_{ж,од,м,3} \tilde{N}_{ч,од,н,3} R_{од,тп,3} \tilde{N}_{ч,од,з,3} \tilde{N}_{с,од,р,3} \#$
- 10.(II.1) $\# E A_{ж,од,д} A_{ж,од,м} A_{ж,од,м} \tilde{N}_{ж,од,м,3} \tilde{N}_{ч,од,н,3} R_{од,тп,3} \tilde{N}_{ч,од,з,3} \tilde{N}_{с,од,р,3} \tilde{N}_{с,од,р,3} \#$
- 11.(II.2) $\# E A_{ж,од,д} A_{ж,од,м} A_{ж,од,м} \tilde{N}_{ж,од,м,3} \tilde{N}_{ч,од,н,3} R_{од,тп,3} A_{ч,од,з} \tilde{N}_{ч,од,з,3} \tilde{N}_{с,од,р,3} \tilde{N}_{с,од,р,3} \#$
- 12.(II.2) $\# E A_{ж,од,д} A_{ж,од,м} A_{ж,од,м} \tilde{N}_{ж,од,м,3} \tilde{N}_{ч,од,н,3} R_{од,тп,3} A_{ч,од,з} \tilde{N}_{ч,од,з,3} A_{с,од,р} \tilde{N}_{с,од,р,3} \tilde{N}_{с,од,р,3} \#$
- 13.(II.5) $\# E A_{ж,од,д} A_{ж,од,м} A_{ж,од,м} \tilde{N}_{ж,од,м,3} \tilde{N}_{ч,од,н,3} R_{од,тп,3} A_{ч,од,з} \tilde{N}_{ч,од,з,3} A_{с,од,р} \tilde{N}_{с,од,р,3} E \tilde{N}_{с,од,р,3} \#$
- 14.(II.1) $\# E A_{ж,од,м} A_{ж,од,д} A_{ж,од,м} \tilde{N}_{ж,од,м,3} \tilde{N}_{ч,од,н,3} R_{од,тп,3} A_{ч,од,з} \tilde{N}_{ч,од,з,3} A_{с,од,р} \tilde{N}_{с,од,р,3} E \tilde{N}_{с,од,р,3} \tilde{N}_{ж,од,р,3} \#$
- 15.(II.2) $\# E A_{ж,од,м} A_{ж,од,д} A_{ж,од,м} \tilde{N}_{ж,од,м,3} \tilde{N}_{ч,од,н,3} R_{од,тп,3} A_{ч,од,з} \tilde{N}_{ч,од,з,3} A_{с,од,р} \tilde{N}_{с,од,р,3} E \tilde{N}_{с,од,р,3} A_{ж,од,р} \tilde{N}_{ж,од,р,3} \#$
- 16.(II.4) $\# E A_{ж,од,д} A_{ж,од,м} A_{ж,од,м} N_{ж,од,м} \tilde{N}_{ч,од,н,3} R_{од,тп,3} A_{ч,од,з} \tilde{N}_{ч,од,з,3} A_{с,од,р} \tilde{N}_{с,од,р,3} E \tilde{N}_{с,од,р,3} A_{ж,од,р} \tilde{N}_{ж,од,р,3} \#$
- 17.(II.4) $\# E A_{ж,од,д} A_{ж,од,м} A_{ж,од,м} N_{ж,од,м} \tilde{N}_{ч,од,н,3} R_{од,тп,3} A_{ч,од,з} N_{ч,од,з} A_{с,од,р} \tilde{N}_{с,од,р,3} E \tilde{N}_{с,од,р,3} A_{ж,од,р} \tilde{N}_{ж,од,р,3} \#$
- 18.(II.4) $\# E A_{ж,од,д} A_{ж,од,м} A_{ж,од,м} N_{ж,од,м} \tilde{N}_{ч,од,н,3} R_{од,тп,3} A_{ч,од,з} N_{ч,од,з} A_{с,од,р} N_{с,од,р} E \tilde{N}_{с,од,р,3} A_{ж,од,р} \tilde{N}_{ж,од,р,3} \#$
- 19.(II.4) $\# E A_{ж,од,д} A_{ж,од,м} A_{ж,од,м} N_{ж,од,м} \tilde{N}_{ч,од,н,3} R_{од,тп,3} A_{ч,од,з} N_{ч,од,з} A_{с,од,р} N_{с,од,р} E \tilde{N}_{с,од,р,3} A_{ж,од,р} N_{ж,од,р} \#$

Кожен крок виведення полягає в розгортанні одного з символів попереднього ланцюжка (так, при переході від ланцюжка 2 до ланцюжка 3 символ $\tilde{R}_{od,mn,3}$ розгортається в три символи – $R_{od,mn,3}$, $\tilde{N}_{c,od,3,1}$, $\tilde{N}_{c,od,0,3}$) або в заміні його іншим (наприклад, при переході від ланцюжка 10 до ланцюжка 11 символ $\tilde{N}_{c,od,3,1}$ замінюється на $N_{c,od,3,1}^{займ}$), інші ж символи переписуються без зміни.

Проміжний ланцюжок містить рівно один допоміжний символ на останньому місці, тобто речення породжується зліва направо. Регулярна граматики ніби передбачає, що може слідувати за вже виданою словоформою, причому глибина передбачення – один сусідній символ; кожен черговий вибір повністю обумовлюється лише одним попереднім вибором [9, 44]. Із виведення речення в регулярній граматиці неможливо отримати природне подання структури безпосередніх складових цього речення порівняно в контекстно-залежній та контекстно-вільній граматиках. Регулярні граматики дають деяку структуру складових, як і взагалі всі граматики безпосередніх складових, однак, ці складові зазвичай мають формальний характер [7, 10, 32, 33, 36, 44, 45].

IV. Процес виведення термінального ланцюжка польською мовою для моделювання синтаксису речення описаної структурної схеми [68]. Алфавітом є іменникова група, дієслівна групи та їх складові (нетермінальні символи), а також лексичний запас мови (відповідні термінальні символи). Згідно з вимогами та правилами англійської мови в реченні на першому місці розташовують іменну групу, а після неї – дієслівну. Усі можливі перетворення термінальних символів у нетермінальні складають множину правил. Під час виведення отримують незліченну кількість термінальних ланцюжків (речень польською відповідної структурної схеми), тому така граматики буде необмеженою, і через свою складність застосування не матиме. Для введення контекстно-залежної граматики змодельємо процес побудови простого розповідного речення англійською мовою з такими обмеженнями на структуру речення:

- іменна група виражена не займенником, визначником-артиклем, спрощена прикметниковою групою та без прийменникової групи;
- дієслівна група виражена лише лексичним дієсловом (вид – простий, спосіб – вказівний, стан – активний), у прислівниковій групі опущено прийменникову групу.

Розглядатимемо речення такої спрощеної структурної схеми.

1. Спрощена **іменна група** \tilde{N} :

$$\tilde{N} = D\{A\}N. \quad (19)$$

Тепер основними граматичними характеристиками іменної групи є число, відмінок іменника, ступінь порівняння, особа. Прикметники можуть об'єднуватися сполучником.

2. Спрощена **дієслівна група** \tilde{R} матиме таку структурну схему:

$$\tilde{R} = R_v[B]. \quad (20)$$

Польські *іменники*, *займенники* та *прикметники* відмінюються за сімома відмінками (як і в українській): називний (mianownik), родовий (dopełniacz), давальний (celownik), знахідний (biernik), орудний (narzędnik), місцевий (miejscownik), кличний (wołacz). Кличний відмінок вживають переважно у формальному контексті; натомість у розмовному використовують називний: Janie! – Jan! Цікаво, що кличний відмінок не упускають при осудливому звертанні: złodzieju! – злодію!; idioto! – ідіоте!. У сучасній польській є лише два числа – одина й множина. Раніше була також двоїна, проте вона зникла в 15 ст. і сьогодні її можна простежити лише в кількох випадках. Наприклад, приказка «Mądrej głowie dość dwie słowie» (Мудрому достатньо двох слів) граматично є некоректною (мало би бути «Mądrej głowie dość dwa słowa»), проте dwie słowie в цьому випадку є залишком двоїни. Польська система родів має три категорії: роду (чоловічий, середній, жіночий), особовості (особова/неособова) та істотності (істота/неістота). Особовість та істотність мають значення лише для іменників чоловічого роду, поділяючи їх на три групи: чоловічо-особові, чоловічо-тваринні та чоловічо-речові. У парадигмі відмінювання ці три групи стоять на одному рівні з іменниками жіночого та середнього роду. Цей поділ особливо відчутно при утворенні множини.

Рід	Називний однини		Знахідний однини		Називний множини		Значення
	Прикметник	Іменник	Прикметник	Іменник	Прикметник	Іменник	
Чоловічо-особовий	kolorowy	uczeń	kolorowego	ucznia	kolorowi	uczniowie	«кольоровий учень»
Чоловічо-тваринний	kolorowy	pies	kolorowego	psa	kolorowe	psy	«кольоровий пес»
Чоловічо-речовий	kolorowy	stół	kolorowy	stół	kolorowe	stoły	«кольоровий стіл»
Жіночий	kolorowa	szafa	kolorową	szafę	kolorowe	szafy	«кольорова шафа»
Середній	kolorowe	krzesło	kolorowe	krzesło	kolorowe	krzesła	«кольорове крісло»

Польські дієслова також відмінюються за родом, особою та числом, а от часові форми значною мірою спростилися (зникли давні аорист, недоконаний та давноминулий часи). У сучасній мові дієслова розрізняють за такими показниками: три часи (теперішній, минулий і майбутній), три види (дійсний, наказовий та умовний), три стани (активний, пасивний та зворотний). Крім того, як і в українській, дієслово має поняття виду – доконаного й недоконаного.

В однині прикметник розрізняє чотири групи (1 і 2 зливаються), а в множині – дві (2, 3, 4, 5 зливаються). Особові займенники розрізняють три групи в однині і дві в множині (див. таблицю):

Рід	Однина	Множина
Чоловічо-особовий	on	oni
Чоловічо-тваринний		one
Чоловічо-речовий		
Жіночий	ona	
Середній	ono	

Особові займенники – виконавці дії вживають лише для смислового наголошення. Розуміння того, хто виконує дію, дає дієслівний постфікс: pisali (вони) писали – pisaliśmy (ми) писали. Ці показники є однаковими для всіх часів, проте в першій і третій особі однини вони бувають різними залежно від дієвідміни дієслова. Приблизне уявлення про польське дієвідмінювання можна скласти на основі відмінювання дієслова być (бути):

	Теперішній час		Минулий час					Майбутній час	
	Однина	Множина	Однина			Множина		Однина	Множина
			Чоловічий	Жіночий	Середній	Чол.-особова	Інші		
Перша особа	jestem	jesteśmy	byłem	byłam	—	byliśmy	byłyśmy	będę	będziemy
Друга особа	jesteś	jesteście	byłeś	byłaś	—	byliście	byłyście	będziesz	będziecie
Третя особа	jest	są	był	była	było	byli	były	będzie	będą

Тепер основними граматичними характеристиками дієслівної групи є особа, число, час. Прислівники можуть об'єднуватися сполучником, допускається моделювання прислівника прислівником [68]. У табл. 2, 3 введено позначення складових спрощених іменної та дієслівної груп та їх граматичних категорій (у дужках – еквівалент польською, після «/» вказано використовувані позначення). Відповідно, скороченим позначеннями іменної групи буде $\tilde{N}_{NR,PR}$, її складових – $N_{NR,CS}$, A_{CD} ; дієслівної групи – $\tilde{R}_{NR,PR}$, її складової – $R_{NR,PR,TM}$. Категорія особи – це граматична категорія особового займенника, який опущено у спрощеній формі речення. Проте, цю категорію необхідно визначати для іменної групи з метою узгодження вживання дієслівної групи.

Позначення граматичних категорій іменної групи та її складових у польській мові

Тип	Опис
Іменна група/ <i>Ń</i>	займенник (<i>zaimek</i>)/ <i>N^{zaim}</i> , прикметник (<i>przymiotnik</i>)/ <i>A</i> , іменник (<i>rzeczownik</i>)/ <i>N</i> ; числівник (<i>liczebnik</i>) / <i>L</i> , прислівник (<i>przysłówek</i>) / <i>B</i> , дієслово (<i>czasownik</i>)/ <i>R</i> , прийменник (<i>przyimek</i>)/ <i>E</i> , союз (<i>spójnik</i>) / <i>Q</i> , частка (<i>partykuła</i>) / <i>C</i> , вигук (<i>wykrzyknik</i>) / <i>V</i> .
Число (<i>Liczba</i>)/ <i>LB</i>	однина (<i>liczba pojedyncza</i>)/ <i>lp</i> , множина (<i>liczba mnoga</i>)/ <i>lm</i> ; двоїсте число (<i>liczba podwójna</i>) / <i>ll</i>
Рід (<i>Rodzaj gramatyczny</i>)/ <i>RG</i>	чоловічий (<i>rodzaj męski</i>)/ <i>rm</i> , середній (<i>rodzaj nijaki</i>)/ <i>rn</i> , жіночий (<i>rodzaj żeński</i>)/ <i>rz</i> ; чоловічо-особові, чоловічо-тваринні та чоловічо-речові особово-чоловічий (<i>męskoosobowy</i>) / <i>mo</i> , тваринно-чоловічий (<i>męskozwierzęcy</i>) / <i>mz</i> та речово-чоловічий (<i>męskorzeczowy</i>) / <i>mr</i>
Відмінок (<i>Przypadek</i>)/ <i>PR</i>	називний (<i>mianownik</i>)/ <i>pn</i> , родовий (<i>dopełniacz</i>)/ <i>pd</i> , давальний (<i>celownik</i>)/ <i>pc</i> , знахідний (<i>biernik</i>)/ <i>pb</i> ; орудний (<i>narzędnik</i>)/ <i>pr</i> , місцевий (<i>miejsownik</i>)/ <i>pm</i> , кличний (<i>wołacz</i>)/ <i>pw</i> .
Особа (<i>osobowe</i>)/ <i>OB</i>	1-ша (<i>pierwsza osoba</i>)/ <i>1</i> , 2-га (<i>druga osoba</i>)/ <i>2</i> , 3-тя (<i>osoba trzecia</i>)/ <i>3</i> .

Грамматична традиція виділяє в польській мові три види роду: чоловічий (*rodzaj męski*), жіночий (*rodzaj żeński*) і середній (*rodzaj nijaki*). В. Маньчак виділяє п'ять родів, поділяючи чоловічий на чоловічо-особовий (*męskoosobowy*), чоловічо-тваринний (*męskozwierzęcy*) та чоловічо-речовий (*męskorzeczowy*). У слів чоловічо-особового роду знахідний відмінок дорівнює родовому в обох числах; у слів чоловічо-тваринного лише в однині, в множині – називному; у слів чоловічо-речових в обох числах – називному.

Таблиця 11

Позначення граматичних категорій дієслівної групи та її складових у польській мові

Тип	Опис
Дієслівна група/ <i>Ř</i>	дієслово (<i>czasownik</i>)/ <i>R</i> , іменник (<i>rzeczownik</i>)/ <i>N</i> ;
Особа (<i>Person</i>)/ <i>OB</i>	1-ша (<i>pierwsza osoba</i>)/ <i>1</i> , 2-га (<i>druga osoba</i>)/ <i>2</i> , 3-тя (<i>osoba trzecia</i>)/ <i>3</i> .
Число (<i>Numerus</i>)/ <i>LB</i>	однина (<i>liczba pojedyncza</i>)/ <i>lp</i> , множина (<i>liczba mnoga</i>)/ <i>lm</i> ; двоїсте число (<i>liczba podwójna</i>) / <i>ll</i>
Час (<i>Verbformen</i>)/ <i>CS</i>	теперішній/ <i>tc</i> , минулий/ <i>mc</i> , майбутній/ <i>ct</i> .

У традиції польської лінгвістики серед простих речень виділяють власне речення (*zdanie*), яке ґрунтується на власній формі дієслова, та еквівалент речення, або повідомлення (*oznajmienie*), в структурі якого власна форма дієслова відсутня. Серед основних структурних схем простих речень виділяють такі, як *ім'я в називному відмінку + дієслово в особистій формі*; *ім'я у родовому відмінку + дієслово в особистій формі*; *ім'я в називному відмінку + зв'язка + прикметник*; *ім'я в називному відмінку + зв'язка + ім'я в називному / орудному відмінку*: *On jest polakiem* «Він поляк»; *ім'я в називному відмінку + зв'язка + ім'я в непрямому відмінку* і т. д. [68]. Для оповідних, спонукальних і питальних речень, що базуються на одних і тих же структурних моделях простого речення, характерні свої структурні і інтонаційні особливості. Розповідні речення мають спадну низьку і рівну низьку інтонацію, питальні – низьку висхідну інтонацію, спонукальні – емоційну інтонацію. Крім того, питальні речення характеризують наявність питальних займенників і часток, а також особливий порядок слів. Спонукальні речення характеризують наявність імперативу чи форми умовного способу в наказовому значенні, наявність спонукальних часток (*niech* та інші) і спеціальних структурних схем (наприклад інфінітивних речень) [68].

Серед складних речень у польській мові виділяють складносурядні і складнопідрядні речення. До складносурядних належать речення з однорідними дієслівними присудками при одному і тому самому суб'єкті-підметі. Зв'язок між складовими частинами складносурядного речення здійснюється і за допомогою як сурядних союзів, і без них. До складнопідрядних зараховують речення, що складаються з головного і одного або декількох придаткових речень. Спосіб подання контекстно-

залежної граматики, що виводить речення введеної структурної схеми польською мовою наведемо на прикладі речення: *W swojej najbardziej ważnej pracy on pokazuje kolorowy świat ukraińskiej wioski w jego wyjątkowej atrakcyjności.* (У своїй найбільш важливій роботі він показує барвистий світ українського села в його неповторній привабливості.) Розглянемо граматику $G_1=(V, T, S, P)$. Алфавіт (для зручності позначення синтаксичних категорій подамо без індексів) $V=(S, \tilde{N}, \tilde{R}, D, A, N, R, Q, E, B, \#, w, swojej, najbardziej, ważnej, pracy, on, pokazuje, kolorowy, świat, ukraińskiej, wioski, w, jego, wyjątkowej, atrakcyjności)$, $T=(\#, w, swojej, najbardziej, ważnej, pracy, on, pokazuje, kolorowy, świat, ukraińskiej, wioski, w, jego, wyjątkowej, atrakcyjności)$, $\#$ – символ межі речення, S – початковий символ. Множину правил P подамо у вигляді табл. 4.

Таблиця 4

Правила формування речення польською мовою

№	Вибір	Правила
I.	S	1) $S \rightarrow \tilde{N}_{LB,OB} \tilde{R}_{LB,OB}$, 2) $S \rightarrow \tilde{R}_{LB,OB} \tilde{N}_{LB,OB}$.
II.	\tilde{N}	1) $\tilde{N}_{LB,OB} \rightarrow A_{PR} \tilde{N}_{LB,OB}$; 2) $\tilde{N}_{LB,OB} \rightarrow \tilde{N}_{LB,OB} \tilde{N}_{LB,OB}$; 3) $\tilde{N}_{LB,OB} \rightarrow N_{LB,RG}$; 4) $A_{PR} \rightarrow A_{PR} Q A_{PR}$; 5) $\tilde{N}_{LB,OB} \rightarrow \tilde{N}_{LB,OB} Q \tilde{N}_{LB,OB}$; 6) $\tilde{N}_{LB,OB} \rightarrow N_{LB,RG}^{zaim}$; 7) $\tilde{N}_{LB,OB} \rightarrow \tilde{N}_{LB,OB} E \tilde{N}_{LB',OB'}$; 8) $A_{PR} \rightarrow B A_{PR}$; 9) $A_{PR} \rightarrow B^{cmyninib} A_{PR}$; 10) $\tilde{N}_{LB,OB} \rightarrow E \tilde{N}_{LB,OB} \tilde{N}_{LB,OB}$; 11) $\tilde{N}_{LB,OB} \rightarrow N_{LB,RG} E N_{LB',RG}$, 12) $\tilde{N}_{LB,OB} N_{LB,RG}^{zaim} \tilde{R}_{LB,OB} \rightarrow \tilde{N}_{LB,OB} \tilde{R}_{LB,OB}$
III.	\tilde{R}	1) $\tilde{R}_{LB,OB} \rightarrow R_{LB,OB,CS}$; 2) $\tilde{R}_{LB,OB} \rightarrow R_{LB,OB,CS} B$ 3) $B \rightarrow B Q B$; 4) $B \rightarrow B^{cmyninib}$; 5) $\tilde{R}_{LB,OB} \rightarrow \tilde{R}_{LB,OB} \tilde{N}_{LB,OB}$; 6) $A \rightarrow B A$, тобто сполучуваність прислівника залежить від контексту. Змістовний сенс обмеження полягає у тому, що прислівники міри та ступеню при сполученні з іншим прислівником виступають, здебільшого, в якості препозитивного елемента (<i>najbardziej ważnej pracy</i>).
IV.	слова	1) $A_{PR} \rightarrow ukraicki_{PR}$ (український); 2) $A_{PR} \rightarrow wazny_{PR}$ (важливий); 3) $A_{PR} \rightarrow kolorowy_{PR}$ (барвистий); 4) $A_{PR} \rightarrow wyjatkwowi_{PR}$ (неповторний); 5) $N_{LB,RG} \rightarrow praca_{LB,RG}$ (робота); 6) $N_{LB,RG} \rightarrow swiat_{LB,RG}$ (світ); 7) $N_{LB,RG} \rightarrow wioska_{LB,RG}$ (село); 8) $N_{LB,RG} \rightarrow atrakcyjnosci_{LB,RG}$ (привабливість); 9) $R_{LB,OB,CS} \rightarrow pokazuwac_{LB,OB,CS}$ (показувати); 10) $Q \rightarrow i$ (і); 11) $E \rightarrow w$ (в); 12) $B^{cmyninib} \rightarrow najbardziej$ (найбільш); 13) $B \rightarrow wazny$ (важливо); 14) $A_{PR} \rightarrow jego_{PR}$ (свій); 15) $N_{LB,RG}^{zaim} \rightarrow on_{LB,RG}$ (він); 16) $N_{LB,RG}^{zaim} \rightarrow ona_{LB,RG}$ (вона); 17) $N_{LB,RG}^{zaim} \rightarrow ono_{LB,OB,CS}$ (воно); 18) $A_{PR} \rightarrow swoim_{PR}$ (свій).

Виведення речення заданої структурної схеми подано нижче.

1. S
2. (I.2) $\# \tilde{R}_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \#$
3. (I.1) $\# \tilde{N}_{lp,3} \tilde{R}_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \#$
4. (II.10) $\# E \tilde{N}_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{R}_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \#$
5. (II.2) $\# E A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{R}_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \#$
6. (II.2) $\# E A_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{R}_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \#$
7. (III.6) $\# E A_{lp,3} B A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{R}_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \#$
8. (III.4) $\# E A_{lp,3} B^{cmyninib} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{R}_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \#$
9. (II.1) $\# E A_{lp,3} B^{cmyninib} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{R}_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \#$
10. (II.2) $\# E A_{lp,3} B^{cmyninib} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{R}_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \#$
11. (II.1) $\# E A_{lp,3} B^{cmyninib} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{R}_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \#$
12. (II.7) $\# E A_{lp,3} B^{cmyninib} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{R}_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} E \tilde{N}_{lp,3} \#$
13. (II.1) $\# E A_{lp,3} B^{cmyninib} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{R}_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} E A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \#$

14. (II.1) # $EA_{lp,3} B^{стунінь} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{R}_{lp,3} \tilde{R}_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} EA_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \#$
15. (II.6) # $EA_{lp,3} B^{стунінь} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} N_{lp,3}^{zaim} \tilde{R}_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} EA_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \#$
16. (III.12) # $EA_{lp,3} B^{стунінь} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \tilde{R}_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} EA_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \#$
17. (III.2) # $EA_{lp,3} B^{стунінь} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} R_{lp,3,tc} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} EA_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \#$
18. (II.3) # $EA_{lp,pd} B^{стунінь} A_{lp,pd} N_{lp,pd} R_{lp,3,tc} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} EA_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} \#$
19. (II.3) ## $EA_{lp,pd} B^{стунінь} A_{lp,pd} N_{lp,pd} R_{lp,3,tc} A_{lp,pb} N_{lp,pb} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} EA_{lp,3} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3}$
20. (II.3) # $EA_{lp,pd} B^{стунінь} A_{lp,pd} N_{lp,pd} R_{lp,3,tc} A_{lp,pb} N_{lp,pb} A_{lp,3} \tilde{N}_{lp,3} EA_{lp,pc} A_{lp,pc} N_{lp,pc} \#$
21. (II.3) # $EA_{lp,pd} B^{стунінь} A_{lp,pd} N_{lp,pd} R_{lp,3,tc} A_{lp,pb} N_{lp,pb} A_{lp,pd} N_{lp,pd} EA_{lp,pc} A_{lp,pc} N_{lp,pc} \#$
22. (IV.11) # $W A_{lp,pd} B^{стунінь} A_{lp,pd} N_{lp,pd} R_{lp,3,tc} A_{lp,pb} N_{lp,pb} A_{lp,pd} N_{lp,pd} EA_{lp,pc} A_{lp,pc} N_{lp,pc} \#$
23. (IV.18) # $W \text{ swojej } B^{стунінь} A_{lp,pd} N_{lp,pd} R_{lp,3,tc} A_{lp,pb} N_{lp,pb} A_{lp,pd} N_{lp,pd} EA_{lp,pc} A_{lp,pc} N_{lp,pc} \#$
24. (IV.12) # $W \text{ swojej najbardziej } A_{lp,pd} N_{lp,pd} R_{lp,3,tc} A_{lp,pb} N_{lp,pb} A_{lp,pd} N_{lp,pd} EA_{lp,pc} A_{lp,pc} N_{lp,pc} \#$
25. (IV.2) # $W \text{ swojej najbardziej важней } N_{lp,pd} R_{lp,3,tc} A_{lp,pb} N_{lp,pb} A_{lp,pd} N_{lp,pd} EA_{lp,pc} A_{lp,pc} N_{lp,pc} \#$
26. (IV.5) # $W \text{ своей najbardziej важней pracy } R_{lp,3,tc} A_{lp,pb} N_{lp,pb} A_{lp,pd} N_{lp,pd} EA_{lp,pc} A_{lp,pc} N_{lp,pc} \#$
27. (IV.9) # $W \text{ своей najbardziej важней pracy показује } A_{lp,pb} N_{lp,pb} A_{lp,pd} N_{lp,pd} EA_{lp,pc} A_{lp,pc} N_{lp,pc} \#$
28. (IV.3) # $W \text{ своей najbardziej важней pracy показује kolorowy } N_{lp,pb} A_{lp,pd} N_{lp,pd} EA_{lp,pc} A_{lp,pc} N_{lp,pc} \#$
29. (IV.6) # $W \text{ своей najbardziej важней pracy показује kolorowy świat } A_{lp,pd} N_{lp,pd} EA_{lp,pc} A_{lp,pc} N_{lp,pc} \#$
30. (IV.1) # $W \text{ своей najbardziej важней pracy показује kolorowy świat української } N_{lp,pd} EA_{lp,pc} A_{lp,pc} N_{lp,pc} \#$
31. (IV.7) # $W \text{ своей najbardziej важней pracy показује kolorowy świat української wioski } E A_{lp,pc} A_{lp,pc} N_{lp,pc} \#$
32. (IV.11) # $W \text{ своей najbardziej важней pracy показује kolorowy świat української wioski w } A_{lp,pc} A_{lp,pc} N_{lp,pc} \#$
33. (IV.14) # $W \text{ своей najbardziej важней pracy показује kolorowy świat української wioski w jego } A_{lp,pc} N_{lp,pc} \#$
34. (IV.4) # $W \text{ своей najbardziej важней pracy показује kolorowy świat української wioski w jego wyjątkowej } N_{lp,pc} \#$
35. (IV.8) # $W \text{ своей najbardziej важней pracy on показује kolorowy świat української wioski w jego wyjątkowej atrakcyjności } \#$

Графічно виведення в граматиці G_1 для генерування польського речення наведено на рис. 5.

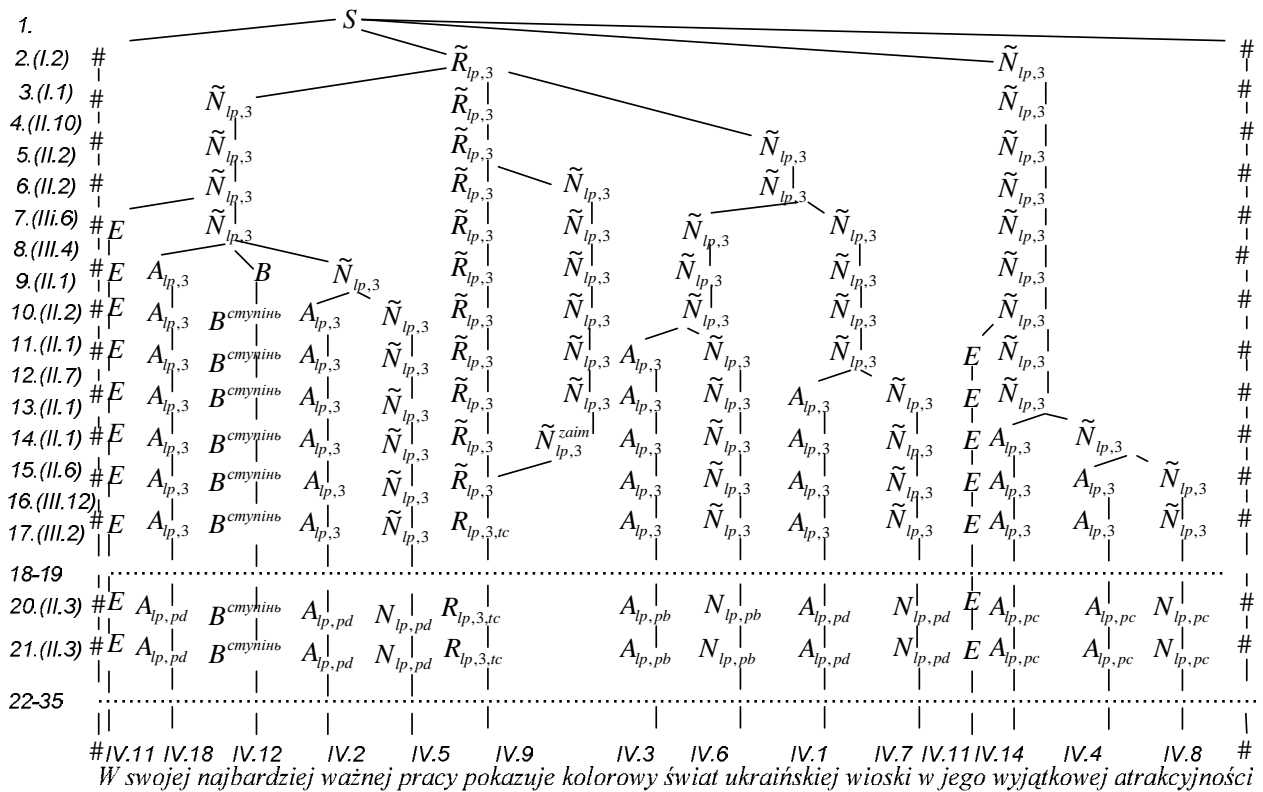


Рис. 5. Виведення в контекстно-залежній граматиці G_1 для генерування речення польською мовою

Кожен крок виведення полягає в розгортанні одного з символів попереднього ланцюжка (так, при переході від ланцюжка 2 до ланцюжка 3 символ $\tilde{N}_{pl,3}$ розгортається в символи $A_{PR}, N_{LB,RG}$) або в заміні його іншим (наприклад, при переході від ланцюжка 7 до ланцюжка 8 символ B замінюється на $B^{ступінь}$), інші ж символи переписуються без зміни. Граматика G_1 здатна породжувати й інші фрази (які не обов'язково є змістовними), наприклад: # *W swojej najbardziej ważnej pracy on pokazuje kolorowy świat ukraińskiej i ukraińskiej i ukraińskiej i ukraińskiej wioski w jego wyjątkowej atrakcyjności* # тощо. Граматика G_1 породжує нескінченно багато різних фраз, оскільки до її складу входять циклічні правила (наприклад, П.2 і/або П.6). Особливість правила: результат його застосування містить входження його лівої частини, що приводить до нескінченної кількості фраз, і множина всіх цих фраз нескінченна. Відмінність генерування термінальних ланцюжків різними групами мов є істотною, а складність – неістотною (табл. 6). Складність генерування термінальних ланцюжків у германських мовах полягає в тому, що дерево є довшим та ширшим із-за присутності артиклів та залежно від послідовності іменникових груп один від одного, що поєднані відповідними прийменниками. Генерування термінальних ланцюжків словянською мовою ускладнюється лише наявністю додаткових відмінників та особливістю змін флексій залежно від роду та відмінку вживаного терму в контексті.

Таблиця 6

Складність виведення речення заданої структурної схеми речення різними мовами

№	Мова	Кількість	Складність
1	англійська	39	1,591
2	німецька	38	1,579
3	українська	36	1,556
4	польська	35	1,544

Висновки і перспективи подальших наукових розвідок

Дослідження застосування математичних методів для аналізу та синтезу текстів природною мовою беруть початок ще з середини минулого століття, коли на розроблення математичних алгоритмів та комп'ютерних програм опрацювання природномовних текстів були спрямовані значні зусилля науковців. Апарат породжувальних граматик, запропонований Н. Хомскі, моделює процеси на синтаксичному рівні мови – виділені структурні елементи речення дають змогу описувати синтаксичні конструкції незалежно від їх змісту. У статті показано особливості процесу синтезу речень різних мов із застосуванням породжувальних граматик, розглянуто вплив норм та правил мови на хід побудови граматик. Застосування породжувальних граматик має широкі можливості у розробленні та створенні автоматизованих систем опрацювання багатомовної інформації, для лінгвістичного забезпечення комп'ютерних лінгвістичних систем тощо.

У природних мовах можливі ситуації, коли явища, які є залежними від контексту, описують як незалежні від контексту в термінах контекстно-вільних граматик. Тоді опис ускладнюється з врахуванням нових категорій і правил. У статті ознайомилися з введенням нових обмежень на класи даних граматик. За кількості символів у правій частині правил, не меншій від лівої, отримали нескорочені граматиками. Потім при заміні лише одного символу отримали контекстно-залежні граматиками. За наявності в лівій частині правила лише одного символу отримали контекстно-вільні граматиками. Жодних наступних природних обмежень на ліві частини правил накласти вже не можна.

1. Английская грамматика в доступном изложении // Режим доступа: <http://realenglish.ru/crash/lesson3.htm>.
2. Анисимов А. В. Алгоритмична модель асоціативно-семантичного контекстного аналізу текстів природною мовою / А. В. Анисимов, О. О. Марченко, А. О. Никоненко // Пробл. програмув. – 2008. – № 2, 3. – С. 379–384.
3. Анисимов А. В. Компьютерная лингвистика для всех: мифы, алгоритмы, язык / А. В. Анисимов. – К.: Наукова думка, 1991. – 208 с.
4. Апресян Ю. Д. Идеи и методы современной структурной лингвистики / Ю. Д. Апресян. – М.: Просвещение, 1966. – 305 с.
5. Апресян Ю. Д. Непосредственно составляющих метод / Ю. Д. Апресян // Лингвистический энциклопедический словарь под ред. В. Н. Ярецовой. – М.: Советская энциклопедия, 1990. – Режим доступа: <http://tapemark.narod.ru/Les/332a.html>.
6. Арсентьева Н. Г. О двух способах порождения предложений русского языка / Н. Г. Арсентьева // Проблемы кибернетики. – 1965. – Вып. 14. – С. 189–218.
7. Багмут А. Й. Порядок слів / А. Й. Багмут // Українська мова: Енцикл. – 3-тє вид., зі змінами і доп. – К.: Вид-во «Укр. енциклопедія» ім. М. П. Бажана, 2007. – С. 675–676.
8. Бильгаева Н. Ц. Теория алгоритмов, формальных языков,

грамматик и автоматов: учеб. пособие / Н. Ц. Бильгаева. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2000. – 51 с.

9. Большакова Е. И. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика: учеб. пособие / Е. И. Большакова, Э. С. Клышинский, Д. В. Ландэ, А. А. Носков, О. В. Пескова, Е. В. Ягунова. – М.: МИЭМ, 2011. – 272 с.

10. Висоцька В. А. Генерування речень українською за допомогою породжувальних граматик / В. А. Висоцька, Т. В. Шестакевич // Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішення проблеми обчислювального інтелекту (ISDMIT'2012)», Євпаторія. – 27–31 травня 2012. – С. 48–50.

11. Волкова И. А. Формальные грамматики и языки. Элементы теории трансляции / И. А. Волкова, Т. В. Руденко: учеб. пособие для студентов II курса. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский отдел факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М.В.Ломоносова, 1999. – 62 с.

12. Гакман О. В. Генеративно-трансформційна лінгвістика Н. Хомського як вираження його лінгвістичної філософії / О. В. Гакман // Мультиверсум. Філософський альманах. – К.: Центр духовної культури, 2005. – № 45. – С. 98–114.

13. Герасимов А. С. Лекции по теории формальных языков / А. С. Герасимов. – Режим доступа: <http://gasteach.narod.ru/ai/tfl/tfl01.pdf>.

14. Гладкий А. В. Синтаксические структуры естественного языка в автоматизированных системах общения / А. В. Гладкий. – М.: Наука, 1985. – 144 с.

15. Гладкий А. В. Элементы математической лингвистики / А. В. Гладкий, И. А. Мельчук. – М.: Наука, 1969. – 192 с.

16. Гладкий А. В. Формальные грамматики и языки / А. В. Гладкий. – М.: Наука, 1973. – 368 с.

17. Гросс М. Теория формальных грамматики / М. Гросс, А. Лантен // Перевод с франц. И. А. Мельчука под редакцией А. В. Гладкого. – М.: Мир, 1971. – 294 с.

18. Дарчук Н. П. Комп'ютерна лінгвістика (автоматичне опрацювання тексту): підручник / Н. П. Дарчук. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2008. – 351 с.

19. Демешко І. Типологія морфологічних моделей у віддієсловному словотворенні сучасної української мови / І. Демешко // Збірник наукових праць «Лінгвістичні студії». Розділ V. Словотвір: напрями, аспекти дослідження. Морфологія. – Донецьк, 2009. – № 19. – С. 162–167.

20. Зубков М. Українська мова: Універсальний довідник / М. Зубков. – К.: ВД «Школа», 2004. – 496 с.

21. Ингве В. Гипотеза глубины / В. Ингве // Новое в лингвистике. – М., 1965. – Вып. IV. – С. 126–138.

22. Любченко Т. П. Лексикографічні системи граматичного типу та їх застосування в засобах автоматизованого опрацювання мови: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 10.02.21 / Т. П. Любченко. – К., 2011. – 19 с.

23. Мартыненко Б. К. Языки и трансляции: учеб. пособие / Б. К. Мартыненко. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2008. – 257 с.

24. Марченко О. О. Алгоритми семантичного аналізу природномовних текстів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. фіз.-мат. наук: спец. 01.05.01 // О. О. Марченко. – К., 2005. – 15 с.

25. Носков С. А. Самоучитель немецкого языка. Deutsch für sie / С. А. Носков. – К.: Наука, 1999. – 400 с.

26. Падучева Е. В. О связях глубины по Ингве со структурой дерева починений / Е. В. Падучева // Научно-техническая информация. – 1967. – № 6. – С. 38–43.

27. Партико З. В. Прикладна і комп'ютерна лінгвістика. Вступ до спеціальності: навч. посіб. / З. В. Партико. – Л.: Аффіша, 2008. – 224 с.

28. Пентус А. Е. Теория формальных языков: учеб. пособие / А. Е. Пентус, М. Р. Пентус. – М.: Изд-во ЦПИ при механико-математическом ф-те МГУ, 2004. – 80 с.

29. Попов Э. В. Общение с ЭВМ на естественном языке / Э. В. Попов. – М.: Наука, 1982. – 360 с.

30. Постнікова О. М. Німецька мова. Розмовні теми: лексика, тексти, діалоги, вправи / О. М. Постнікова. – К.: А. С. К, 2001. – Т. 1. – 400 с.

31. Постнікова О. М. Німецька мова. Розмовні теми: лексика, тексти, діалоги, вправи / О. М. Постнікова. – К.: А. С. К, 2001. – Т. 2. – 320 с.

32. Потапова Г. М. Морфологія віддієсловного словотворення (на матеріалі словотвірних гнізд з вершинами – дієсловами та віддієсловних словотвірних зон): дис. ... канд. наук: 10.02.02 // Г. М. Потапова. – 2008. – 19 с.

33. Русаченко Н. П. Морфологічні процеси у словозміні та словотворі староукраїнської мови другої половини XVI – XVIII ст.: автореф. дис. ... канд. філол. наук: спец. 10.02.01 / Н. П. Русаченко. – К., 2004. – 24 с. – Режим дос-тупу: http://auteur.corneillemoliere.com/?p=history&m=corneille_moliere&l=rus.

34. Торосян О. М. Функціональні характеристики прислівників міри та ступеня в сучасній англійській мові: автореф. дис. ... канд. філол. наук / О. М. Торосян. – Режим доступа: <http://dissert.com.ua/contents/6712.html>.

35. Туришева О. О. Порушення рамкової конструкції в сучасній німецькій мові: функціональний аспект, нормативний статус: автореф. дис. канд. філол. наук: спец. 10.02.04 / О. О. Туришева. – Одеса, 2012. – 20 с.

36. Український правопис / Ін-т мовознавства ім. О. О. Потебні НАН України, Ін-т укр. мови НАН України. – К.: Наук. думка, 2007. – 288 с.

37. Фомичев В. С. Формальные языки, грамматики и автоматы / В. С. Фомичев. – Режим доступа: <http://www.proklondike.com/books/thproch/>.

38. Хомский Н. О некоторых формальных свойствах грамматики / Н. Хомский // Кибернетический сборник. – М.: Мир, 1962. – № 5. – С. 279–311.

39. Хомский Н. Формальный анализ естественных языков / Н. Хомский, Дж. Миллер // Кибернетический сборник. – М.: Мир, 1965. – № 1. – С. 231–290.

40. Хомский Н. Язык и мышление / Н. Хомский // Публикации ОСиПЛ. Серия монографий. – М.: Изд-во Московского

университета, 1972. – № 2. – 122 с. 41. Хомский Н. Синтаксические структуры / Н. Хомский // Сборник «Новое в лингвистике». – М.: ИЛ, 1962. – № 2. – С. 412–527. 42. Чепурна З. В. Трансформація порядку слів у простому реченні при перекладі з німецької мови українською / З. В. Чепурна // Наукові записки, серія «Філологічні науки (мовознавство)»: у 5 ч. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2010. – Вип. 89 (1). – С. 232–236. 43. Шаров С. А. Средства компьютерного представления лингвистической информации / С. А. Шаров. – Режим доступа : <http://www.ksu.ru/eng/science/ittc/vol000/002/>. 44. Шестакевич Т. В. Застосування породжувальних граматики для генерування речень українською мовою / Т. В. Шестакевич, В. А. Висоцька // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2012. – № 3/2 (57). – С. 51–53. 45. Шульжук К. Синтаксис української мови: Підручник / К. Шульжук. – К.: Академія, 2004. – 397 с. 46. Щербина Ю. М. Предмет математичної лінгвістики / Ю. М. Щербина // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка», серія «Інформаційні системи та мережі». – 2002. – № 464. – С. 340–349. 47. Щербина Ю. М. Науковий напрям та навчальна дисципліна «Математична лінгвістика» / Ю. М. Щербина, Т. В. Шестакевич, В. А. Висоцька // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка», серія «Інформаційні системи та мережі». – 2010. – № 673. – С. 384–392. 48. Шрейдер Ю. А. Характеристики сложности структуры текста / Ю. А. Шрейдер // Научно-техническая информация. – № 7. – 1966. – С. 34–41. 49. Chomsky N. Three models for the description of language / N. Chomsky. – I.R.E. Trans. PGIT 2, 1956. – P. 113–124. (Русский перевод: Хомский Н. Три модели для описания языка / Н. Хомский // Кибернетический сборник. – М.: ИЛ, 1961. – № 2. – С. 237–266). 50. Chomsky N. On certain formal properties of grammars, Information and Control 2 / N. Chomsky // A note on phrase structure grammars, Information and Control 2, 1959. – P. 137–267, 393–395. (Русский перевод: Хомский Н. Заметки о грамматиках непосредственных составляющих / Н. Хомский // Кибернетический сборник. – М.: ИЛ, 1962. – № 5. – С. 312–315). 51. Chomsky N. On the notion «Rule of Grammar» / N. Chomsky // Proc. Symp. Applied Math., 12. Amer. Math. Soc., 1961. (Русский перевод: Н. Хомский. О понятии «правило грамматики» / Н. Хомский // Сб. Новое в лингвистике. – М.: Прогресс, 1965. – № 4. – С. 34–65). 52. Chomsky N. Context-free grammars and pushdown storage / N. Chomsky // Quarterly Progress Reports, № 65, Research Laboratory of Electronics, M.I.T., 1962. 53. Chomsky N. Formal properties of grammars / N. Chomsky // Handbook of Mathemati-Mathematical Psychology, 2, ch. 12, Wiley, 1963. – P. 323–418. (Русский перевод: Н. Хомский. Формальные свойства грамматик / Н. Хомский // Кибернетический сборник. – М.: ИЛ, 1966. – № 2. – С. 121–230). 54. Chomsky N. The logical basis for linguistic theory / N. Chomsky // Proc. IX-th Int. Cong. Linguists, 1962. (Русский перевод: Хомский Н. Логические основы лингвистической теории / Н. Хомский // Сб. Новое в лингвистике. – М.: Прогресс, 1965. – № 4. – С. 465–575). 55. Chomsky N. Finite state languages / N. Chomsky, G.A. Miller // Information and Control 1, 1958. – P. 91–112. (Русский перевод: Хомский Н. Языки с конечным числом состояний. Кибернетический сборник. – М.: ИЛ, 1962. – № 4. – С. 231–255). 56. Chomsky N. Introduction to the formal analysis of natural languages / N. Chomsky, G. A. Miller // Handbook of Mathematical Psychology 2, Ch. 12, Wiley, 1963. – P. 269–322. (Русский перевод: Хомский Н. Введение в формальный анализ естественных языков / Н. Хомский, Д. Миллер // Кибернетический сборник. – М.: Мир, 1965. – № 1. – С. 229–290). 57. Chomsky N. The algebraic theory of context-free languages / N. Chomsky, M.P. Schützenberger // Computer programming and formal systems, North-Holland, MR152391. – Amsterdam, 1963. – P. 118–161. (Русский перевод: Хомский Н. Алгебраическая теория контекстно-свободных языков / Н. Хомский, М. Шютценбергер // Кибернетический сборник, новая серия. – М.: Мир, 1966. – № 3. – С. 195–242). 58. Bar-Hillel Y. Finite state languages: formal representation and adequacy problems / Y.Bar-Hillel, E. Shamir // Bulletin of the Research Council of Israel. – 8F, № 3. – 1960. – P. 155–166. 59. Bobrow D.G. Syntactic analysis of English by computer – a survey / D. G. Bobrow // AFIPS conference proceedings. – 24, Baltimore – London. – 1963. – P. 365–387. 60. English Verbs (Part 1) – Basic Terms. – Режим доступа: <http://sites.google.com/site/englishgrammarguide/Home/english-verbs—part-1---basic-terms>. 61. Hays D. G. Automatic language data processing / D. G. Hays // Computer applications in behavioral sciences, Englewood Cliffs (N. J.) . – 1962. – P. 394–421. 62. Postal P.M. Limitations of phrase structure grammars / P.M. Postal // The structure of language. Readings in the philosophy of language, Englewood Cliffs (N. J.). – 1964. – P. 137–151. 63. Tesniere L. Elements de syntaxe structurale / L. Tesniere. – P. 1959. 64. Tosh L.W. Syntactic translation, The Hague / L. W. Tosh. – 1965. 65. Yngve V. H. A model and a hypothesis for language structure / V. H. Yngve // Proceedings of American philosophical society. – 1960. – 104, № 5. – P. 444–466. 66. Yngve V. H. Random generation of English sentences / V.H. Yngve // Teddington (National physical laboratory. Paper 6). – 1961. 67. Varga D. Yngve's hypothesis and some problems of the mechanical analysis / D. Varga // Computational Linguistics. – III. – 1964. – P. 47–74. 68. Левицька Г. Самовчитель польської мовию Практичний курс: навч. посібник / Г. Левицька, Р. Левицький. – К.: Методика, 2006. – 240 с.