

Лекція 09-10.

**ЗАСТОСУВАННЯ  
ПОРОДЖУВАЛЬНИХ ГРАМАТИК  
ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ  
СИНТАКСИСУ РЕЧЕННЯ**

Стрімкий розвиток Інтернет активізував створення різноманітних лінгвістичних ресурсів.

Потреба в автоматизації процесів аналізу/синтезу природномовних текстів зумовила появу відповідних лінгвістичних моделей та методів їх опрацювання. Необхідним став розвиток багатьох мовознавчих дисциплін для потреб інформаційних наук. Інтеграційні процеси в більшості галузей життя сучасного світу привертають особливу увагу до розроблення та створення автоматизованих систем опрацювання багатомовної інформації.

Традиційно аналіз природномовних текстів складається з трьох послідовних процесів (морфологічного, синтаксичного та семантичного), для яких створені відповідні моделі та методи.

Так, теорія породжувальних граматики, початок якої заклав американський лінгвіст Н. Хомскі [11–15, 35–38, 43–53], є ефективним інструментом лінгвістичного моделювання на синтаксичному рівні мови. Вчений використав прийом формального аналізу граматичної структури фраз, який дає змогу виділити синтаксичні структури, що є основною схемою фрази, незалежно від її значення [11]. Ідеї Н. Хомскі розвинув радянський лінгвіст А.В. Гладкий [13–15], який застосовував поняття дерев залежності та систем складових для моделювання синтаксичного рівня мови [22, 40]. Він запропонував спосіб моделювання синтаксису за допомогою синтаксичних груп, що виділяють складові словосполучень як одиниці побудови дерева залежностей, – таке подання дало змогу об'єднати переваги методу безпосередніх складових і дерев залежностей [4–5, 40].

Формальна породжувальна граMATика  $G$  – це четвірка  $G = (V, T, S, P)$ , де  $V$  – скінченна непорожня множина, алфавіт (словник);  $T$  – її підмножина, елементи якої є термінальними (основними) символами, терміналами;  $S$  – початковий символ ( $S \in V$ );  $P$  – скінченна множина продукцій (правил перетворення) вигляду  $\xi \rightarrow \eta$ , де  $\xi$  та  $\eta$  – ланцюжки над  $V$ . Множину  $V \setminus T$  позначають  $N$ , її елементи є нетермінальними (допоміжними) символами, не терміналами [13–15]. ГраMATики класифікують за типами продукцій, на які накладено певні обмеження (табл. 1) [35–38].

Таблиця 1

### Класифікація граMATик за типами продукцій

Тип	Опис
Довільна	Ланцюжок $\xi$ містить хоча б один нетермінальний символ, $\eta$ – 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 $\xi$ замінюють на $\eta$ 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 $\eta$ у довільному оточенні щоразу, коли він зустрічається, тобто незалежно від контексту.
Регулярна	Лише продукції $A \rightarrow aB$ , $A \rightarrow a$ , $S \rightarrow \lambda$ , де $A, B$ – нетермінали, $a$ – термінал, $\lambda$ – порожній ланцюжок.

Тлумачитимемо термінальні символи як словоформи (деякої природної мови), нетермінальні символи – як синтаксичні категорії, а термінальні ланцюжки, що виводяться, – як правильні речення певної мови [11–15, 35–38, 43–53]. Тоді виведення речення природно інтерпретують як його синтаксичну структуру, подану в термінах безпосередній складових [9, 41]. Пояснимо на прикладах.

**Приклад 1.** Розглянемо процес виведення термінального ланцюжка в англійській мові, де речення мають строго визначений, особливий порядок слів. Наприклад, для простого розповідного речення англійською основними синтаксичними категоріями є іменна та дієслівна групи [1, 54], 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** виражається *займенником* або має таку структурну схему (у квадратних дужках зазначено необов'язкові елементи, а у фігурних – елементи, які можуть повторюватись):

[*Визначник*] [{{*Прикметникова група*}}] *Іменник* [*Прійменникова група*] (1)

*Визначник* 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 іменну групу з точки зору визначеності, кількості тощо.

*Прикметникова група* має таку структурну схему:

{{*Прислівник*}} *Прикметник* [*Прійменникова група*] (2)

*Прійменникова група* має таку структурну схему:

*Прійменник* *Іменна група* (3)

**Дієслівна група** має таку структурну схему:

*Дієслівний вираз* [*Прислівникова група*] (4)

*Дієслівний вираз* складається з лексичних, допоміжних та модальних дієслів (Д.):

[*Модальне Д.*] [*Д. допоміжне*][*Д. допоміжне*][*Д. допоміжне*] *Д. лексичне* (5)

*Прислівникова група* має таку структурну схему:

{{*Прислівник*}} [{{*Прійменникова група*}}] (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 становлять множину правил. Під час виведення отримують незліченну кількість термінальних ланцюжків (речень англійською відповідної структурної схеми), тому така граMATика 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 наступної спрощеної структурної схеми.

1. Спрощена **іменна група**:

*Визначник {Прикметник} Іменник* (7)

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

2. Спрощена **дієслівна група** матиме таку структурну схему:

*Дієслівний вираз {Прислівник}* (8)



Тепер основними граматичними характеристиками дієслівної групи є особа, число, час. Прислівники можуть об'єднуватися сполучником, допускається моделювання прислівника прислівником [31]. У табл. 2–3 введено позначення складових спрощених іменної та дієслівної груп та їх граматичних категорій (у дужках – еквівалент англійською, після «/» вказано використувані 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 2

**Позначення граматичних категорій іменної групи та її складових**

Тип	Опис
Іменна група/ $\tilde{N}$	визначник/ $D$ , прикметник/ $A$ , іменник/ $N$
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)/ $3$

Спосіб подання контекстно-залежної граматики, що виводить речення введеної структурної схеми англійською мовою приведемо на прикладі речення: *The Ukrainian and Polish fans cheered emotionally and very actively*. (Українські та польські вболівальники вболівали емоційно та дуже активно.) Розглянемо граматику  $G_1=(V, T, S, P)$ . Алфавіт (для зручності позначення синтаксичних категорій подамо без індексів)  $V=(S, \tilde{N}, \tilde{R}, D, A, N, R, Q, B, \textit{Ukrainian}, \textit{Polish}, \textit{fan}, \textit{cheer}, \textit{the}, \textit{and}, \textit{emotionally}, \textit{actively}, \textit{very})$ ,  $T=(\textit{Ukrainian}, \textit{Polish}, \textit{fan}, \textit{cheer}, \textit{the}, \textit{and}, \textit{emotionally}, \textit{actively}, \textit{very})$ ,  $S$  – початковий символ. Множину правил  $P$  подамо у вигляді табл. 4.

Таблиця 3

## Позначення граматичних категорій дієслівної групи та її складових

Тип	Опис
Дієслівна група/ $\bar{R}$	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)/ $ft$

## Правила формування речення англійською мовою для Прикладу 1

№	Група правил	Правила
I.	Вибір структури $S$	$S \rightarrow \# \tilde{N}_{NR,PR} \tilde{R}_{NR,PR} \#$ .
II.	Розгортання іменної групи	1) $\tilde{N}_{NR,PR} \rightarrow DA_{CD} N_{NR,CS}$ ;      2) $A_{CD} \rightarrow A_{CD} QA_{CD}$ .
III.	Розгортання дієслівної групи	1) $\tilde{R}_{NR,PR} \rightarrow R_{NR,PR,TM} B$ ;      2) $B \rightarrow BQB$ ;      3) $B \rightarrow BB$ ; 4) $BB \rightarrow B^{стуніть} B$ , 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>so well, almost far</i> ) [31].
IV.	Реалізація синтаксичних категорій словоформами	1) $A_{CD} \rightarrow Ukrainian_{CD}$ (український);      2) $A_{CD} \rightarrow Polish_{CD}$ (польський); 3) $N_{NR,CS} \rightarrow fan_{NR,CS}$ (вболівальник);      4) $R_{NR,PR,TM} \rightarrow cheer_{NR,PR,TM}$ (вболівати); 5) $D \rightarrow the$ (означений артикль);      6) $Q \rightarrow and$ (і); 7) $B \rightarrow emotionally$ (емоційно);      8) $B \rightarrow actively$ (активно); 9) $B^{стуніть} \rightarrow very$ (дуже).

Графічно виведення в граматиці  $G_1$  для генерування англійського речення подано на рис. 1 (тут і надалі # – символ межі речення, який вважається термінальним).

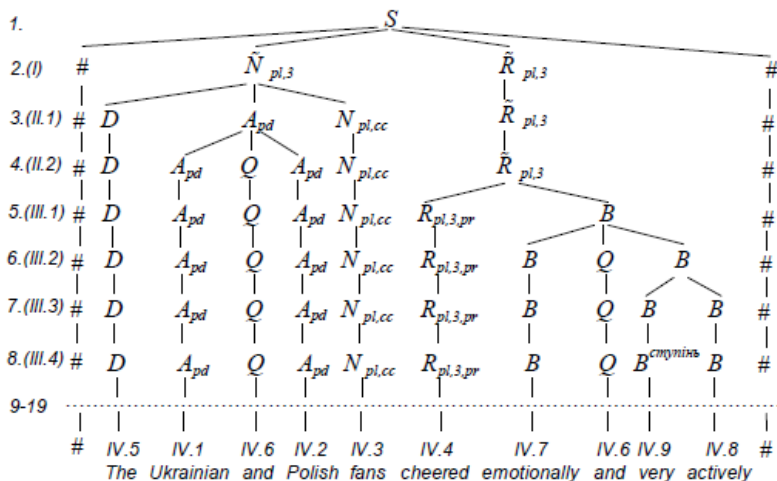


Рис. 1. Виведення в контекстно-залежній граматиці  $G_1$  для генерування речення англійською мовою

Виведення речення заданої структурної схеми наведено нижче.

1. S
2. (I) #  $\tilde{N}_{pl,3}$   $\tilde{R}_{pl,3}$  #
3. (II.1) #  $DA_{pd}$   $N_{pl,cc}$   $\tilde{R}_{pl,3}$  #
4. (II.2) #  $D$   $A_{pd}$   $QA_{pd}$   $N_{pl,cc}$   $\tilde{R}_{pl,3}$  #
5. (III.1) #  $D$   $A_{pd}$   $QA_{pd}$   $N_{pl,cc}$   $R_{pl,3,ps}$   $B$  #
6. (III.2) #  $D$   $A_{pd}$   $QA_{pd}$   $N_{pl,cc}$   $R_{pl,3,ps}$   $BQB$  #
7. (III.3) #  $D$   $A_{pd}$   $QA_{pd}$   $N_{pl,cc}$   $R_{pl,3,ps}$   $BQBB$  #
8. (III.4) #  $D$   $A_{pd}$   $QA_{pd}$   $N_{pl,cc}$   $R_{pl,3,ps}$   $BQB$ <sup>стунінь</sup>  $B$  #
9. (IV.5) # *The*  $A_{pd}$   $QA_{pd}$   $N_{pl,cc}$   $R_{pl,3,ps}$   $BQB$ <sup>стунінь</sup>  $B$  #
10. (IV.1) # *The Ukrainian*  $QA_{pd}$   $N_{pl,cc}$   $R_{pl,3,ps}$   $BQB$ <sup>стунінь</sup>  $B$  #
11. (IV.2) # *The Ukrainian Q Polish*  $N_{pl,cc}$   $R_{pl,3,ps}$   $BQB$ <sup>стунінь</sup>  $B$  #
12. (IV.6) # *The Ukrainian and Polish*  $N_{pl,cc}$   $R_{pl,3,ps}$   $BQB$ <sup>стунінь</sup>  $B$  #
13. (IV.6) # *The Ukrainian and Polish*  $N_{pl,cc}$   $R_{pl,3,ps}$   $B$  and  $B$ <sup>стунінь</sup>  $B$  #
14. (IV.3) # *The Ukrainian and Polish fans*  $R_{pl,3,ps}$   $B$  and  $B$ <sup>стунінь</sup>  $B$  #
15. (IV.4) # *The Ukrainian and Polish fans cheered*  $B$  and  $B$ <sup>стунінь</sup>  $B$  #
16. (IV.7) # *The Ukrainian and Polish fans cheered emotionally* and  $B$ <sup>стунінь</sup>  $B$  #
17. (IV.8) # *The Ukrainian and Polish fans cheered emotionally* and  $B$ <sup>стунінь</sup> *actively* #
18. (IV.9) # *The Ukrainian and Polish fans cheered emotionally* and *very* *actively* #

Кожен крок виведення полягає в розгортанні одного з символів попереднього ланцюжка (так, при переході від ланцюжка 2 до ланцюжка 3 символ  $\tilde{N}_{pl,z}$  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  $B^{стунів}$ ), інші ж символи переписуються без зміни. Граматика  $G_1$  здатна породжувати й інші фрази (які не обов'язково є змістовними), наприклад: # *The Ukrainian and Ukrainian and Ukrainian and Ukrainian fans cheered actively and very actively* # тощо. Граматика  $G_1$  породжує нескінченно багато різних фраз, так як до її складу входять циклічні правила (наприклад, П.2). Особливість правила: результат його застосування містить входження його лівої частини, що приводить до нескінченної кількості фраз, і множина всіх цих фраз нескінченна.

**Приклад 2.** Розглянемо процес виведення простого розповідного речення німецькою, для якого основними синтаксичними категоріями є іменна та дієслівна групи [23, 27, 28, 32, 39]. 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 граMATика 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 відносно нефіксованим [39], а тому допускає і більше структурних видозмін схеми речення. Введемо структурні схеми іменної та дієслівної груп одразу з певними обмеженнями (спрощеннями). Розглядатимемо таку структурну схему **іменної групи**:

{{Прикметник}} Іменник {{Іменна група}} або Займенник (9)

Основними граматичними характеристиками іменної групи в німецькій мові є рід, число, відмінок, особа [23, 27, 28, 32, 39]. Стійкою ознакою синтаксичної будови німецького речення є його рамкова структура, виділяють три види вербальних рамок [32].



Розглянемо таку структурну схему дієслівної групи.

$$\text{Дієслово} \{ \{ \text{Іменна група} \} \} \quad (10)$$

Основними граматичними характеристиками дієслівної групи в німецькій мові є особа, число, час. Узгоджуються дієслівна та іменникова групи за родом, числом, відмінком і особою [23, 32, 39].

У табл. 5–6 подано позначення граматичних категорій спрощених для іменної та дієслівної груп (у дужках – еквівалент німецькою, після «/» є використовувані 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

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

## Позначення граматичних категорій іменної групи та її складових

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

## Позначення граматичних категорій дієслівної групи та її складових

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

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

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

Спосіб подання граматики, що виводить речення введеної структурної схеми німецькою мовою, наведемо на прикладі речення *In seinem bedeutendsten Werk, in der Gedichtsammlung «Kobsar», zeigt er, Taras Schewtschenko, die bunte Welt des ukrainischen Dorfes in ihrem einmaligen Reiz* [23]. (У своїй найважливішій роботі, в антології «Кобзар», він, Тарас Шевченко, показує барвистий світ українського села в його неповторній привабливості.) Для спрощення скоротимо фразу до такого вигляду. *In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte Welt des ukrainischen Dorfes in ihrem einmaligen Reiz.* (У своїй найважливішій роботі він показує барвистий світ українського села в його неповторній привабливості.)

Розіб'ємо речення на складові для знаходження залежностей, які наведені в табл. 7.

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

Таблиця 7

### Виведення ланцюжків речення німецькою мовою для Прикладу 2

№	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  $V=(S, \tilde{N}, \tilde{R}, A, N, R, \textit{sein}, \textit{bedeutend}, \textit{Werk}, \textit{zeigt}, \textit{er}, \textit{bunt}, \textit>welt}, \textit{ukrainisch}, \textit>Dorf}, \textit{ihr}, \textit{einmalig}, \textit>Reiz}$ ),  $T=(\textit{sein}, \textit{bedeutend}, \textit>Werk}, \textit{zeigt}, \textit{er}, \textit{bunt}, \textit>welt}, \textit{ukrainisch}, \textit>Dorf}, \textit{ihr}, \textit{einmaling}, \textit>Reiz}$ ),  $S$  – початковий символ. Множину правил  $P$  подамо у вигляді табл. 8.

## Правила формування речення німецькою мовою для Прикладу 2

№	Група правил	Правила
I.	Вибір структури 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.	Розгортання іменної групи	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> (усміхнений ти) або <i>ich Freude</i> (я радості).
III.	Розгортання дієслівної групи	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) $\tilde{R}_{NR,pr,PR} \rightarrow R_{NR,pr,PR}$ .
IV.	Реалізація синтаксичних категорій словоформами	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).

Виведення речення заданої структурної схеми подано нижче.

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. (III.1)  $\# \tilde{N}_{ng,sg,dk,3} \tilde{R}_{sg,pr,3} \tilde{N}_{fg,sg,ak,3} \tilde{N}_{mg,sg,dk,3} \#$

5. (III.2)  $\# \tilde{N}_{ng,sg,dk,3} \tilde{R}_{sg,pr,3} \tilde{N}_{mg,sg,nk,3} \tilde{N}_{fg,sg,ak,3} \tilde{N}_{mg,sg,dk,3} \#$

6. (II.1)  $\# \tilde{N}_{ng,sg,dk,3} \tilde{R}_{sg,pr,3} \tilde{N}_{mg,sg,nk,3} \tilde{N}_{fg,sg,ak,3} \tilde{N}_{ng,sg,gk,3} \tilde{N}_{mg,sg,dk,3} \#$

7. (II.2)  $\# A_{ng,sg,dk} \tilde{N}_{ng,sg,dk,3} \tilde{R}_{sg,pr,3} \tilde{N}_{mg,sg,nk,3} \tilde{N}_{fg,sg,ak,3} \tilde{N}_{ng,sg,gk,3} \tilde{N}_{mg,sg,dk,3} \#$

8. (II.2)  $\# A_{ng,sg,dk} A_{ng,sg,dk} \tilde{N}_{ng,sg,dk,3} \tilde{R}_{sg,pr,3} \tilde{N}_{mg,sg,nk,3} \tilde{N}_{fg,sg,ak,3} \tilde{N}_{ng,sg,gk,3} \tilde{N}_{mg,sg,dk,3} \#$



9. (II.2)  $\# A_{ng,sg,dk} A_{ng,sg,dk} \tilde{N}_{ng,sg,dk,3} \tilde{R}_{sg,pr,3} \tilde{N}_{mg,sg,nk,3} A_{fg,sg,ak} \tilde{N}_{fg,sg,ak,3} \tilde{N}_{ng,sg,gk,3} \tilde{N}_{mg,sg,dk,3} \#$
10. (II.2)  $\# A_{ng,sg,dk} A_{ng,sg,dk} \tilde{N}_{ng,sg,dk,3} \tilde{R}_{sg,pr,3} \tilde{N}_{mg,sg,nk,3} A_{fg,sg,ak} \tilde{N}_{fg,sg,ak,3} A_{ng,sg,gk} \tilde{N}_{ng,sg,gk,3} \tilde{N}_{mg,sg,dk,3} \#$
11. (II.2)  $\# A_{ng,sg,dk} A_{ng,sg,dk} \tilde{N}_{ng,sg,dk,3} \tilde{R}_{sg,pr,3} \tilde{N}_{mg,sg,nk,3} A_{fg,sg,ak} \tilde{N}_{fg,sg,ak,3} A_{ng,sg,gk} \tilde{N}_{ng,sg,gk,3} A_{mg,sg,dk} \tilde{N}_{mg,sg,dk,3} \#$
12. (II.2)  $\# A_{ng,sg,dk} A_{ng,sg,dk} \tilde{N}_{ng,sg,dk,3} \tilde{R}_{sg,pr,3} \tilde{N}_{mg,sg,nk,3} A_{fg,sg,ak} \tilde{N}_{fg,sg,ak,3} A_{ng,sg,gk} \tilde{N}_{ng,sg,gk,3} A_{mg,sg,dk} A_{mg,sg,dk} \tilde{N}_{mg,sg,dk,3} \#$
13. (II.3)  $\# A_{ng,sg,dk} A_{ng,sg,dk} N_{ng,sg,dk} \tilde{R}_{sg,pr,3} \tilde{N}_{mg,sg,nk,3} A_{fg,sg,ak} \tilde{N}_{fg,sg,ak,3} A_{ng,sg,gk} \tilde{N}_{ng,sg,gk,3} A_{mg,sg,dk} A_{mg,sg,dk} \tilde{N}_{mg,sg,dk,3} \#$
14. (II.3)  $\# A_{ng,sg,dk} A_{ng,sg,dk} N_{ng,sg,dk} \tilde{R}_{sg,pr,3} \tilde{N}_{mg,sg,nk,3} A_{fg,sg,ak} N_{fg,sg,ak} A_{ng,sg,gk} \tilde{N}_{ng,sg,gk,3} A_{mg,sg,dk} A_{mg,sg,dk} \tilde{N}_{mg,sg,dk,3} \#$

15. (II.3) # $A_{ng,sg,dk} A_{ng,sg,dk} N_{ng,sg,dk} \tilde{R}_{sg,pr,3} \tilde{N}_{mg,sg,nk,3} A_{fg,sg,ak} N_{fg,sg,ak} A_{ng,sg,gk} N_{ng,sg,gk} A_{mg,sg,dk} A_{mg,sg,dk} \tilde{N}_{mg,sg,dk,3} \#$
16. (II.3) # $A_{ng,sg,dk} A_{ng,sg,dk} N_{ng,sg,dk} \tilde{R}_{sg,pr,3} \tilde{N}_{mg,sg,nk,3} A_{fg,sg,ak} N_{fg,sg,ak} A_{ng,sg,gk} N_{ng,sg,gk} A_{mg,sg,dk} A_{mg,sg,dk} N_{mg,sg,dk} \#$
17. (III.4) # $A_{ng,sg,dk} A_{ng,sg,dk} N_{ng,sg,dk} R_{sg,pr,3} \tilde{N}_{mg,sg,nk,3} A_{fg,sg,ak} N_{fg,sg,ak} A_{ng,sg,gk} N_{ng,sg,gk} A_{mg,sg,dk} A_{mg,sg,dk} N_{mg,sg,dk} \#$
18. (II.4) # $A_{ng,sg,dk} A_{ng,sg,dk} N_{ng,sg,dk} R_{sg,pr,3} N_{mg,sg,nk,3}^{pron} A_{fg,sg,ak} N_{fg,sg,ak} A_{ng,sg,gk} N_{ng,sg,gk} A_{mg,sg,dk} A_{mg,sg,dk} N_{mg,sg,dk} \#$
19. (IV.6) #*In seinem*  $A_{ng,sg,dk} N_{ng,sg,dk} R_{sg,pr,3} N_{mg,sg,nk,3}^{pron} A_{fg,sg,ak} N_{fg,sg,ak} A_{ng,sg,gk} N_{ng,sg,gk} A_{mg,sg,dk} A_{mg,sg,dk} N_{mg,sg,dk} \#$
20. (IV.8) #*In seinem bedeutendsten*

$N_{ng,sg,dk} R_{sg,pr,3} N_{mg,sg,nk,3}^{pron} A_{fg,sg,ak} N_{fg,sg,ak} A_{ng,sg,gk} N_{ng,sg,gk} A_{mg,sg,dk} A_{mg,sg,dk} N_{mg,sg,dk} \#$

21. (IV.3) #*In seinem bedeutendsten Werk*

$R_{sg,pr,3} N_{mg,sg,nk,3}^{pron} A_{fg,sg,ak} N_{fg,sg,ak} A_{ng,sg,gk} N_{ng,sg,gk} A_{mg,sg,dk} A_{mg,sg,dk} N_{mg,sg,dk} \#$

22. (IV.3) #*In seinem bedeutendsten Werk zeigt*

$N_{mg,sg,nk,3}^{pron} A_{fg,sg,ak} N_{fg,sg,ak} A_{ng,sg,gk} N_{ng,sg,gk} A_{mg,sg,dk} A_{mg,sg,dk} N_{mg,sg,dk} \#$

23. (IV.5) #In seinem bedeutendsten Werk zeigt er  $A_{fg,sg,ak} N_{fg,sg,ak} A_{ng,sg,gk} N_{ng,sg,gk} A_{mg,sg,dk} A_{mg,sg,dk} N_{mg,sg,dk} \#$
24. (IV.9) #In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte  $N_{fg,sg,ak} A_{ng,sg,gk} N_{ng,sg,gk} A_{mg,sg,dk} A_{mg,sg,dk} N_{mg,sg,dk} \#$
25. (IV.2) #In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte Welt  $A_{ng,sg,gk} N_{ng,sg,gk} A_{mg,sg,dk} A_{mg,sg,dk} N_{mg,sg,dk} \#$
26. (IV.10) #In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte Welt des ukrainischen  
 $N_{ng,sg,gk} A_{mg,sg,dk} A_{mg,sg,dk} N_{mg,sg,dk} \#$
27. (IV.4) #In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte Welt des ukrainischen Dorfes  
 $A_{mg,sg,dk} A_{mg,sg,dk} N_{mg,sg,dk} \#$
28. (IV.7) #In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte Welt des ukrainischen Dorfes in ihrem  
 $A_{mg,sg,dk} N_{mg,sg,dk} \#$
29. (IV.11) #In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte Welt des ukrainischen Dorfes in ihrem einmaligen  
 $N_{mg,sg,dk} \#$
30. (IV.1) # In seinem bedeutendsten Werk zeigt er die bunte Welt des ukrainischen Dorfes in ihrem  
einmaligen Reiz #

Графічно виведення в граматиці  $G_2$  для генерування німецького речення подано на рис. 2.

Кожен крок виведення полягає в розгортанні одного з символів попереднього ланцюжка (так, при переході від ланцюжка 2 до ланцюжка 3 символ  $\tilde{R}_{zg,pr,3}$  розгортається в символи  $\tilde{R}_{zg,pr,3}$  та  $\tilde{N}_{mg,zg,dk,3}$ ) або в заміні його іншим (наприклад, при переході від ланцюжка 16 до ланцюжка 17 символ  $\tilde{R}_{zg,pr,3}$  замінюється на  $R_{zg,pr,3}$ ), 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, П.2).

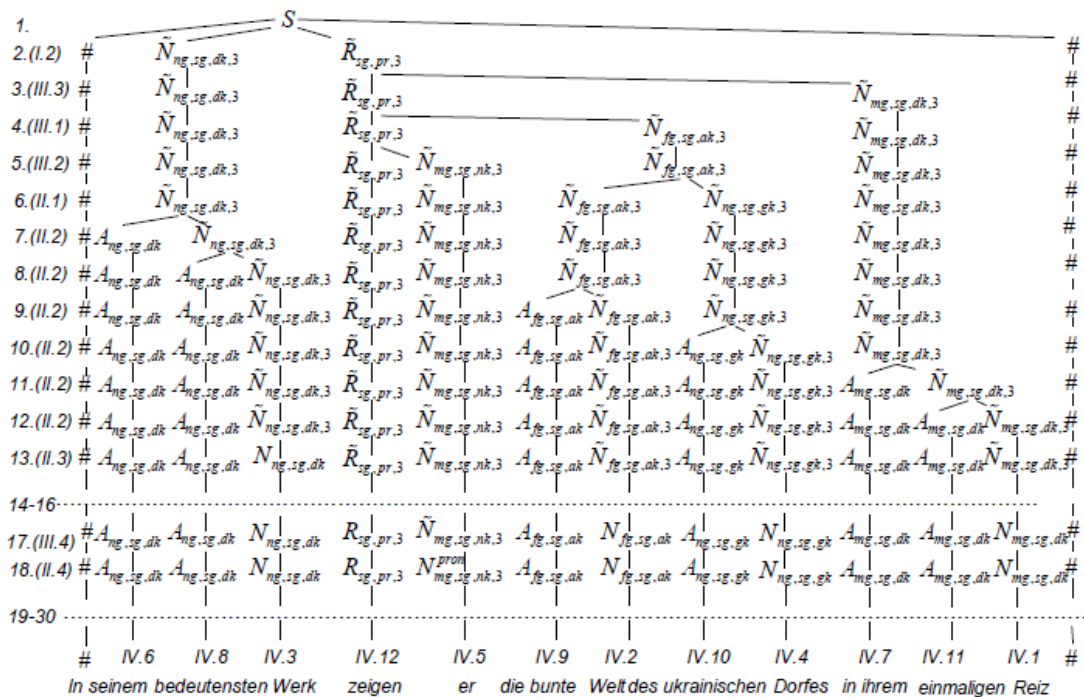


Рис. 2. Виведення в контекстно-залежній граматиці  $G_2$  для генерування речення німецькою мовою

**Приклад 3.** Розглянемо процес виведення речення в українській мові [9, 41], якій властивий вільний порядок слів у реченні, що, проте, не заперечує існування сталого порядку розміщення окремих мовних елементів [19, 33, 42]. Для простого повного речення з прямим порядком слів структурну схему вважатимемо фіксованою, основними синтаксичними категоріями такого речення будуть іменна та дієслівна групи [18–19, 29–30, 33, 42]. 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, перш за все, на структуру речення. Спираючись на правила побудови речень української мови з прямим порядком слів (наприклад, прикметник стоїть у препозиції до іменника, елементи іменникової групи групуються навколо іменника тощо) [7, 19], розглянемо **іменну групу** такої структурної схеми.

*{Прикметник Іменник}* або *Займенник* (11)

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** такої структурної схеми:

*Дієслово Іменна група* (12)

З огляду на граматичні характеристики дієслова в українській мові, узгодження між іменною та дієслівною групою відбувається за числом, родом та особою (табл. 9–10).

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 –  $R_{РД,ЧЛ,ЧС,ОС}$ .

Таблиця 9

## Позначення граматичних категорій іменної групи та її складових

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 10

## Позначення граматичних категорій дієслівної групи та її складових

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> .



Реалізація норм та правил української мови впливає на подання перетворень. Наприклад, відомо, що найбільш часто іменна група виражається іменником або займенником у називному відмінку, а форми дієслова у теперішньому часі для всіх родів однини співпадають (*він/вона/воно летить*), і врахування таких закономірностей відповідно відображається у позначеннях іменної та дієслівної груп –  $\tilde{N}_{\text{РД,ЧЛ,ж,ОС}}$  і  $\tilde{R}_{\text{ЧЛ,тн,ОС}}$ . Спосіб подання контекстно-залежної граматики, що виводить речення введеної структурної схеми (з урахуванням певних закономірностей української мови) приведемо на прикладі речення *Весела посмішка твого сина наповнює мене безмежним щастям*. Розглянемо граматику  $G_3=(V, T, S, P)$ . Алфавіт (позначення синтаксичних категорій подамо без індексів – для зручності)  $V=(S, \tilde{N}, \tilde{R}, A, N, R, N^{\text{змн}}$ , *веселий, посмішка, твій, син, наповнювати, я, безмежний, щастя*),  $T=(\text{веселий, посмішка, ти, син, наповнювати, я, безмежний, щастя})$ ,  $S$  – початковий символ. Множину правил  $P$  подамо у вигляді табл. 11. У правилах IV табл. 11 не враховано узгодження  $A$  з одухотвореним  $S$  у знахідному відмінку.

## Правила формування речення українською мовою для Прикладу 3

№	Група правил	Правила
1	2	3
I.	Вибір структури $S$	$S \rightarrow \# \tilde{N}_{РД,ЧЛ,Н,ОС} \tilde{R}_{ЧЛ,МТ,ОС} \#$ .
II.	Розгортання Іменної групи	<p>1) <math>\tilde{N}_{РД,ЧЛ,ВД,З} \rightarrow \tilde{N}_{РД,ЧЛ,ВД,З} \tilde{N}_{РД',ЧЛ',Р,ОС}</math>; 2) <math>\tilde{N}_{РД,ЧЛ,ВД,З} \rightarrow A_{РД,ЧЛ,ВД} \tilde{N}_{РД,ЧЛ,ВД,З}</math>;</p> <p>3) <math>K_1 \tilde{N}_{РД,ЧЛ,ВД,ОС} K_2 \rightarrow K_1 N_{РД,ЧЛ,ВД,ОС}^{займ} K_2</math>, де <math>K_1</math> – символ, відмінний від символу <math>A_{РД,ЧЛ,ВД}</math>, а <math>K_2</math> – символ, відмінний від символу з індексом <math>ВД' = p</math>. Символи <math>K_1</math> і <math>K_2</math> 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>);</p> <p>4) <math>\tilde{N}_{РД,ЧЛ,ВД,З} \rightarrow N_{РД,ЧЛ,ВД}</math>.</p>

1	2	3
III.	Розгортання дієслівної групи	1) $\tilde{R}_{\text{ЧЛ,мн,ОС}} \rightarrow R_{\text{ЧЛ,мн,ОС}} \tilde{N}_{\text{РД',ЧЛ',з,ОС'}} \tilde{N}_{\text{РД',ЧЛ',о,ОС'}} ;$ 2) $\tilde{R}_{\text{ЧЛ,мн,ОС}} \rightarrow R_{\text{ЧЛ,мн,ОС}} \tilde{N}_{\text{РД',ЧЛ',о,ОС'}} \tilde{N}_{\text{РД',ЧЛ',з,ОС'}} ;$ 3) $\tilde{R}_{\text{ЧЛ,мн,ОС}} \rightarrow R_{\text{ЧЛ,мн,ОС}} \tilde{N}_{\text{РД',ЧЛ',з,ОС'}} ;$ 4) $\tilde{R}_{\text{ЧЛ,мн,ОС}} \rightarrow R_{\text{ЧЛ,мн,ОС}} \tilde{N}_{\text{РД',ЧЛ',о,ОС'}} .$
IV.	Реалізація синтаксичних категорій словоформами	1) $N_{\text{ч,ЧЛ,ВД}} \rightarrow \text{син}_{\text{ЧЛ,ВД}}, \dots ;$ 2) $N_{\text{ж,ЧЛ,ВД}} \rightarrow \text{посмішка}_{\text{ЧЛ,ВД}}, \dots ;$ 3) $N_{\text{с,ЧЛ,ВД}} \rightarrow \text{щастя}_{\text{ЧЛ,ВД}}, \dots ;$ 4) $N_{\text{РД,од,ВД,1}}^{\text{займ}} \rightarrow \text{я}_{\text{ВД}} ;$ 5) $N_{\text{РД,од,ВД,2}}^{\text{займ}} \rightarrow \text{ми}_{\text{ВД}} ;$ 6) $A_{\text{РД,ЧЛ,ВД}} \rightarrow \text{веселий}_{\text{РД,ЧЛ,ВД}}, \text{безмежний}_{\text{РД,ЧЛ,ВД}}, \text{мій}_{\text{РД,ЧЛ,ВД}}, \text{твій}_{\text{РД,ЧЛ,ВД}}, \dots ;$ 7) $R_{\text{ЧЛ,мн,ОС}} \rightarrow \text{наповнити}_{\text{ЧЛ,мн,ОС}}, \dots .$

Приклад виведення в граматиці  $G_3$  для генерування українського речення подано на рис. 3.

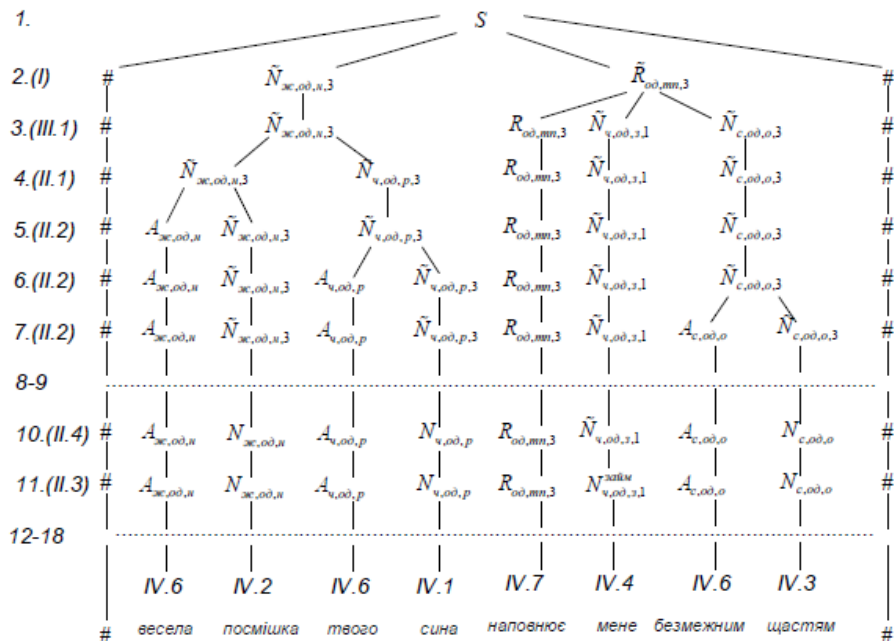


Рис. 3. Виведення в контекстно-залежній граматиці  $G_3$  для генерування речення українською мовою

Виведення речення заданої структурної схеми подано нижче.

1.  $S$

2. (I)  $\# \tilde{N}_{ж,од,н,3} \tilde{R}_{од,мн,3} \#$

3. (III.1)  $\# \tilde{N}_{ж,од,н,3} R_{од,мн,3} \tilde{N}_{ч,од,з,1} \tilde{N}_{с,од,о,3} \#$

4. (II.1)  $\# \tilde{N}_{ж,од,н,3} \tilde{N}_{ч,од,р,3} R_{од,мн,3} \tilde{N}_{ч,од,з,1} \tilde{N}_{с,од,о,3} \#$

5. (II.2)  $\# A_{ж,од,н} \tilde{N}_{ж,од,н,3} \tilde{N}_{ч,од,р,3} R_{од,мн,3} \tilde{N}_{ч,од,з,1} \tilde{N}_{с,од,о,3} \#$

6. (II.2)  $\# A_{ж,од,н} \tilde{N}_{ж,од,н,3} A_{ч,од,р} \tilde{N}_{ч,од,р,3} R_{од,мн,3} \tilde{N}_{ч,од,з,1} \tilde{N}_{с,од,о,3} \#$

7. (II.2)  $\# A_{ж,од,н} \tilde{N}_{ж,од,н,3} A_{ч,од,р} \tilde{N}_{ч,од,р,3} R_{од,мн,3} \tilde{N}_{ч,од,з,1} A_{с,од,о} \tilde{N}_{с,од,о,3} \#$

8. (II.4)  $\# A_{ж,од,н} N_{ж,од,н} A_{ч,од,р} \tilde{N}_{ч,од,р,3} R_{од,мн,3} \tilde{N}_{ч,од,з,1} A_{с,од,о} \tilde{N}_{с,од,о,3} \#$

9. (II.) #  $A_{ж,од,н} N_{ж,од,н} A_{ч,од,р} N_{ч,од,р} R_{од,тп,з} \tilde{N}_{ч,од,з,1} A_{с,од,о} \tilde{N}_{с,од,о,3} \#$
10. (II.4) #  $A_{ж,од,н} N_{ж,од,н} A_{ч,од,р} N_{ч,од,р} R_{од,тп,з} \tilde{N}_{ч,од,з,1} A_{с,од,о} N_{с,од,о} \#$
11. (II.3) #  $A_{ж,од,н} N_{ж,од,н} A_{ч,од,р} N_{ч,од,р} R_{од,тп,з} N_{ч,од,з,1}^{заїм} A_{с,од,о} N_{с,од,о} \#$
12. (IV.6) # *весела*  $N_{ж,од,н} A_{ч,од,р} N_{ч,од,р} R_{од,тп,з} N_{ч,од,з,1}^{заїм} A_{с,од,о} N_{с,од,о} \#$
13. (IV.2) # *весела посмішка*  $A_{ч,од,р} N_{ч,од,р} R_{од,тп,з} N_{ч,од,з,1}^{заїм} A_{с,од,о} N_{с,од,о} \#$
14. (IV.6) # *весела посмішка твого*  $N_{ч,од,р} R_{од,тп,з} N_{ч,од,з,1}^{заїм} A_{с,од,о} N_{с,од,о} \#$
15. (IV.1) # *весела посмішка твого сина*  $R_{од,тп,з} N_{ч,од,з,1}^{заїм} A_{с,од,о} N_{с,од,о} \#$
16. (IV.7) # *весела посмішка твого сина наповнює*  $N_{ч,од,з,1}^{заїм} A_{с,од,о} N_{с,од,о} \#$
17. (IV.6) # *весела посмішка твого сина наповнює мене*  $A_{с,од,о} N_{с,од,о} \#$
18. (IV.6) # *весела посмішка твого сина наповнює мене безмежним*  $N_{с,од,о} \#$
19. (IV.3) # *весела посмішка твого сина наповнює мене безмежним щастям* #

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 –  $R_{od,mn,3}$ ,  $\tilde{N}_{v,od,3,1}$ ,  $\tilde{N}_{c,od,0,3}$ ) або в заміні його іншим (наприклад, при переході від ланцюжка 10 до ланцюжка 11 символ  $\tilde{N}_{v,od,3,1}$  замінюється на  $N_{v,od,3,1}^{zaml}$ ), інші ж символи переписуються без зміни.

Якщо при розгортанні, замінювані або переписувані символи (*предки*) з'єднаємо лініями безпосередньо з символами, які виходять в результаті розгортання, заміни або переписування (*нащадками*), отримаємо дерево складових, або синтаксичну структуру (рис. 4).

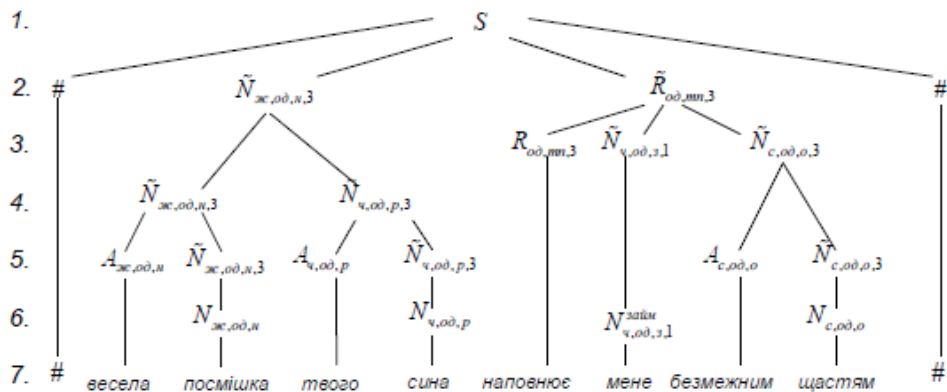


Рис. 4. Дерево складових для контекстно-залежної граматики  $G_3$



Прикладом правила з використанням контексту в граматиці  $G_3$  є правило П.3. Але відмова від контексту, тобто вимога, щоб в лівій частині правила був рівно один символ, робить структуру граматики ще простішою та полегшує їх дослідження. Хоча в природних мовах заміна одних одиниць іншими часто допустима лише в певних контекстах, доцільно досліджувати можливість описувати мови, не беручи до уваги вказаний факт [13–15]. Це дає змогу розділити випадки, де використання контексту дійсно необхідне, і випадки, де можна обійтися і без контексту. Особливими є випадки, коли контекст змістовно необхідний, але формально його враховують за допомогою контекстно-вільних правил, що досягають введенням в граматику нових категорій. Так, в граматиці  $G_3$  контекстно-залежне правило П.3 усувається, якщо перетворити граматику за алгоритмом, поданим в табл. 12 та розробленим на основі робіт [13–15].

Найважливішою особливістю регулярних граматики є специфічна форма виведення. Побудуємо для прикладу регулярну граматику, яка б породжувала речення типу *Весела посмішка наповнює безмежним щастям*. Розглянемо граматику  $G_4=(V, T, S, P)$ , де  $V=(S, \tilde{N}, N, \text{веселий}, \text{посмішка}, \text{наповнювати}, \text{безмежний}, \text{щастя})$ ,  $T=(\text{веселий}, \text{посмішка}, \text{наповнювати}, \text{безмежний}, \text{щастя})$ ,  $S$  – початковий символ, продукції  $P=(1.S \rightarrow \tilde{N}_{\text{рд,чл,н,ос}}, 2.N_{\text{рд,чл,вд}} \rightarrow \text{веселий}_{\text{рд,чл,вд}} \tilde{N}_{\text{рд,чл,вд}},$

3. $N_{\text{рд,чл,вд}} \rightarrow \text{безмежний}_{\text{рд,чл,вд}} \tilde{N}_{\text{рд,чл,вд}}, 4.N_{\text{ж,чл,н}} \rightarrow \text{посмішка}_{\text{ж,чл,н}} R_{\text{чл,з}}, 5.N_{\text{с,чл,ор}} \rightarrow \text{щастя}_{\text{с,чл,ор}} R_{\text{чл,з}},$   
 6. $N_{\text{ж,чл,н}} \rightarrow \text{посмішка}_{\text{ж,чл,н}}, 7.N_{\text{с,чл,ор}} \rightarrow \text{щастя}_{\text{с,чл,ор}}, 8.R_{\text{чл,з}} \rightarrow \text{наповнити}_{\text{чл,з}} N_{\text{рд,чл,ор}}).$

Вказане речення матиме в цій граматиці таке виведення:

$S$

(1)  $N_{ж,од,н}$

(2) *весела*  $N_{ж,од,н}$

(4) *весела посмішка*  $R_{од,з}$

(8) *весела посмішка наповнює*  $N_{с,од,з}$

(3) *весела посмішка наповнює безмежним*  $N_{с,од,з}$

(7) *весела посмішка наповнює безмежним щастям.*

## Етапи алгоритми перетворення граматики

№	Опис
1	У допоміжний словник вводять нові незайменникові іменні групи $\tilde{N}'_{рд,чл,вд}$ поряд з $\tilde{N}_{рд,чл,вд}$ .
2	Правило П.3 замінюють на $\tilde{N}_{рд,чл,вд,ос} \rightarrow \tilde{N}_{рд,чл,ос}^{зам}$ і $\tilde{N}_{рд,чл,вд,з} \rightarrow \tilde{N}'_{рд,чл,вд}$ .
3	У правилах П.1, П.2 і П.4 символи $\tilde{N}'_{рд,чл,вд,з}$ замінюють на $\tilde{N}'_{рд,чл,вд,ос}$ різними способами (табл. 13), тобто при розгортанні довільної іменної групи $\tilde{N}_{рд,чл,вд,ос}$ в конструкцію $A+N$ або $N+N_p$ відслідковують появу конструкції, відмінної від особового займенника (новий я або ми посмішки).

## Способи розгортання іменної групи

№	Опис
1	Особові займенники є іменниками особливого класу $N^{сам}$ та іменною групою $\tilde{N}$ , але вираз $\tilde{N} \rightarrow N^{сам}$ істинний лише при умові, якщо на попередньому кроці не існує $\tilde{N} \rightarrow A\tilde{N}$ або $\tilde{N} \rightarrow \tilde{N}N_p$ (правила П.1-3).
2	Займенники є особливим класом іменників, але поряд з категорією довільна іменна група $\tilde{N}$ є категорія іменної (незайменникової) групи $\tilde{N}'$ , та символ $\tilde{N}$ , який під час виведення (до його розгортання) обов'язково замінюють або на символ $N^{сам}$ (який не може розгортатися далі), або на символ $\tilde{N}'$ (який розгортається звичайним чином); $A$ та $N_p$ з'являються із $\tilde{N}'$ , але $\tilde{N}'$ не може перетворитися в займенник.
3	Для позначення займенників використовують символ $Z$ та більшість правил граматики дублюються, наприклад, $\Gamma: S \rightarrow Z_{од,н,ос} \tilde{R}_{од,мл,ос}$ ; а П.3': $\tilde{R}_{чл,мл,ос} \rightarrow R_{чл,мл,ос} Z_{рд,чл,з,ос}$ тощо.

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, 41]. 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 носять формальний характер [9, 11–15, 35–38, 41, 43–53].

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 граматики, 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 граматики, розглянуто вплив норм та правил мови на хід побудови граматики. Застосування породжувальних граматики 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 цих граматик. При кількості символів в правій частині правил не меншій за ліву отримали нескорочені граматики. Потім при заміні лише одного символу отримали контекстно-залежні граматики. При наявності в лівій частині правила лише одного символу отримали контекстно-вільні граматики. 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. *Анісімов А.В. Алгоритмічна модель асоціативно-семантичного контекстного аналізу текстів природною мовою / А.В. Анісімов, 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.: 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. Ярцевой. – М.: Советская энциклопедия, 1990. – Режим доступа: <http://tapemark.narod.ru/les/332a.html>.*
6. *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.*
7. *Бильгаева Н.Ц. Теория алгоритмов, формальных языков, грамматик и автоматов: Учеб. пособие / Н.Ц. Бильгаева. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2000. – 51 с.*
8. *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.*
9. *Висоцька В.А. Генерування речень українською за допомогою породжувальних граматик / В.А. Висоцька, Т.В. Шестакевич // Міжнародна наукова конференція "Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту (ISDMIT'2012)", Євпаторія. – 27–31 травня 2012. – С. 48–50.*

10. 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. (переработанное и дополненное). – М.: Изд. отдел факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М.В. Ломоносова, 1999. – 62 с.
11. Гакман О.В. Генеративно-трансформаційна лінгвістика Н. Хомського як вираження його лінгвістичної філософії / О.В. Гакман // Мультиверсум. Філософський альманах. – К.: Центр духовної культури, 2005. – № 45. – С. 98–114.
12. Герасимов А.С. Лекции по теории формальных языков / А.С. Герасимов. – Режим доступа: <http://gasteach.narod.ru/au/tfl/tfl01.pdf>.
13. Гладкий А.В. Синтаксические структуры естественного языка в автоматизированных системах общения / А.В. Гладкий. – М.: Наука, 1985. – 144 с.
14. Гладкий А.В. Элементы математической лингвистики / А.В. Гладкий, И.А. Мельчук – М.: Наука, 1969. – 192 с.
15. Гладкий А.В. Формальные грамматики и языки / А.В. Гладкий. – М.: Наука, 1973. – 368 с.
16. Гросс М. Теория формальных грамматик / М. Гросс, А. Лантен // Перевод с французского И.А. Мельчука под редакцией А.В. Гладкого. – М.: Мир, 1971. – 294 с.
17. Дарчук Н.П. Комп'ютерна лінгвістика (автоматичне опрацювання тексту): підручник / Н.П. Дарчук – К.: ВПЦ “Київський університет”, 2008. – 351 с.
18. Демешко І. Типологія морфологічних моделей у віддієсловному словотворенні сучасної української мови / І. Демешко // Зб. наук. праць “Лінгвістичні студії”. Розділ V. Словотвір: напрями, аспекти дослідження. Морфологія. – Донецьк, 2009. – № 19. – С. 162–167.
19. Зубков М. Українська мова: Універсальний довідник / М. Зубков. – К.: ВД “Школа”,

2004. – 496 с. 20. 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. 21. Мартыненко Б.К. Языки и трансляции: Учеб. пособие / Б.К. Мартыненко. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2008. – 257 с.
22. 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.
23. Носков С.А. Самоучитель немецкого языка. Deutsch für sie / С.А. Носков. – К.: Наука, 1999. – 400 с. 24. Партико З.В. Прикладна і комп'ютерна лінгвістика. Вступ до спеціальності: навч. посіб. / З.В. Партико. – Л.: Афіша, 2008. – 224 с. 25. Пентус А.Е. Теория формальных языков: Учебное пособие / А.Е. Пентус, М.Р. Пентус. – М.: Изд-во ЦПИ при механико-математическом ф-те МГУ, 2004. – 80 с. 26. Попов Э.В. Общение с ЭВМ на естественном языке / Э.В. Попов. – М.: Наука, 1982. – 360 с. 27. Постнікова О.М. Німецька мова. Розмовні теми: лексика, тексти, діалоги, вправи / О.М. Постнікова. – К.: А.С.К, 2001. – Т. 1. – 400 с. 28. Постнікова О.М. Німецька мова. Розмовні теми: лексика, тексти, діалоги, вправи / О.М. Постнікова. – К.: А.С.К, 2001. – Т. 2. – 320 с. 29. Потапова Г.М. Морфологія віддієслівного словотворення (на матеріалі словотвірних гнізд з вершинами – дієсловами та віддієслівних словотвірних зон): дис. канд. наук: 10.02.02 // Г.М. Потапова. – 2008. – 19 с. 30. Русаченко Н.П. Морфологічні процеси у словозміні



та словотворі староукраїнської мови другої половини XVI – XVIII ст.: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. філол. наук: спец. 10.02.01 / Н.П. Русаченко. – Київ, 2004. – 24 с. – Режим доступу: [http://auteur.corneille-moliere.com/?p=history&m=corneille\\_moliere&l=rus](http://auteur.corneille-moliere.com/?p=history&m=corneille_moliere&l=rus). 31. Торосян О.М. Функціональні характеристики прислівників міри та ступеня в сучасній англійській мові: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. філол. наук / О.М. Торосян. – Режим доступу: <http://disser.com.ua/contents/6712.html>. 32. Туришева О.О. Порушення  $\bar{\text{ш}}\bar{\text{м}}_4^*$ нтрамкової конструкції в сучасній німецькій мові: функціональний аспект, нормативний статус: автореф. дис. канд. філол. наук: спец. 10.02.04 / Туришева О.О. – Одеса, 2012. – 20 с. 33. Український правопис / Ін-т мовознавства ім. О.О. Потебні НАН України, Ін-т укр. мови НАН України. – К.: Наук. думка, 2007. – 288 с. 34. Фомичев В.С. Формальные языки, грамматики и автоматы / В.С. Фомичев. – Режим доступа: <http://www.proklondike.com/books/thproch/>. 35. Хомский Н. О некоторых формальных свойствах граматик / Н. Хомский // Кибернетический сборник. – М.: Мир, 1962. – № 5. – С. 279–311. 36. Хомский Н. Формальный анализ естественных языков / Н. Хомский, Дж. Миллер // Кибернетический сборник. – М.: Мир, 1965. – № 1. – С. 231–290. 37. Хомский Н. Язык и мышление / Н. Хомский // Публикации ОСиПЛ. Серия монографий. – М.: Издательство Московского университета, 1972. – №2. – 122 с. 38. Хомский Н. Синтаксические структуры / Н. Хомский // Сборник «Новое в лингвистике». – М.: ИЛ, 1962. – № 2. – С. 412–527. 39. Чепурна З.В. Трансформація порядку слів у простому реченні при перекладі з німецької мови українською /

- 3.В. Чепурна // *Наукові записки, серія «Філологічні науки (мовознавство)»*: у 5 ч. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2010. – Випуск 89 (1). – С. 232–236.
40. Шаров С.А. Средства компьютерного представления лингвистической информации / С.А. Шаров. – Режим доступа: <http://www.ksu.ru/eng/science/ittc/vol000/002/>.
41. Шестакевич Т.В. Застосування породжувальних граматик для генерування речень українською мовою / Т.В. Шестакевич, В.А. Висоцька // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – Харків, 2012. – №3/2 (57). – С. 51–53.
42. Шульжук К. Синтаксис української мови: Підручник / К. Шульжук. – К.: Академія, 2004. – 397 с.
43. Щербина Ю.М. Предмет математичної лінгвістики / Ю.М. Щербина // *Вісник НУЛП, серія «Інформаційні системи та мережі»*. – Львів, 2002. – №464. – С. 340–349.
44. Щербина Ю.М. Науковий напрям та навчальна дисципліна “Математична лінгвістика” / Ю.М. Щербина, Т.В. Шестакевич, В.А. Висоцька // *Вісник НУЛП, серія «Інформаційні системи та мережі»*. – Львів, 2010. – № 673. – С. 384–392.
45. 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).
46. 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).
47. Chomsky N. On the notion «Rule

*of Grammar» / N. Chomsky // Proc. Symp. Applied Math., 12. Amer. Math. Soc., 1961. (Русский перевод: Хомский Н. О понятии «правило грамматики» / Н. Хомский // Сб. Новое в лингвистике. – М.: Прогресс, 1965. – №4. – С. 34-65).* 48. Chomsky N. Context-free grammars and pushdown storage / N. Chomsky // *Quarterly Progress Reports*, № 65, Research Laboratory of Electronics, M.I.T., 1962.

49. Chomsky N. Formal properties of grammars / N. Chomsky // *Handbook of Mathematical Psychological Psychology*, 2, ch. 12, Wiley, 1963. – P. 323-418. (Русский перевод: Хомский Н. Формальные свойства грамматики / Н. Хомский // *Кибернетический сборник*. – М.: ИЛ, 1966. – № 2. – С. 121–230).

50. 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).

51. 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).

52. Chomsky N. Introduction to the formal analysis of natural languages / N. Chomsky, G.A. Miller // *Handbook of Mathematical Psychological 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). 53. 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. Шютценберже // *Кибернетический сборник, новая серия*. – М.: Мир, 1966. – № 3. – С. 195–242).

54. *English Verbs (Part 1) – Basic Terms*. – Режим доступа:  
<http://sites.google.com/site/englishgrammarguide/Home/english-verbs--part-1----basic-terms>.