

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
Фізико-технічний інститут

КРИПТОГРАФІЯ КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРАКТИКУМ №1
Експериментальна оцінка ентропії на символ джерела відкритого
тексту

Виконали студенти:
3го курсу групи ФБ-31
Ткач Олександр Олександрович
Томашевський Назар Геннадійович

Київ – 2025

Мета роботи:

Засвоєння понять ентропії на символ джерела та його надлишковості, вивчення та порівняння різних моделей джерела відкритого тексту для наближеного визначення ентропії, набуття практичних навичок щодо оцінки ентропії на символ джерела.

Порядок виконання роботи:

0. Уважно прочитати методичні вказівки до виконання комп'ютерного практикуму.
1. Написати програми для підрахунку частот букв і частот біграм в тексті, а також підрахунку H_1 та H_2 за безпосереднім означенням. Підрахувати частоти букв та біграм, а також значення H_1 та H_2 на довільно обраному тексті російською мовою достатньої довжини (щонайменше 1Мб), де імовірності замінити відповідними частотами. Також одержати значення H_1 та H_2 на тому ж тексті, в якому вилучено всі пробіли.
2. За допомогою програми CoolPinkProgram оцінити значення $H^{(10)}$, $H^{(20)}$, $H^{(30)}$.
3. Використовуючи отримані значення ентропії, оцінити надлишковість російської мови в різних моделях джерела.

Хід роботи:

Було взято текст книги "Гобіт"

Результат:

Текст з пробілами:

Ентропія для монограм(H_1): 4.45644

Надлишковість для монограм(R_1): 0.12404

Ентропія для біграм з перетином(H_2 _перетин): 4.06666

Надлишковість для біграм з перетином(R_2 _перетин): 0.60033

Ентропія для біграм без перетину(H_2 _без_перетин): 4.06548

Надлишковість для біграм без перетину(R_2 _без_перетин): 0.60044

Текст без пробілів:

Ентропія для монограм(H_1): 4.47207

Надлишковість для монограм(R_1): 0.11346

Ентропія для біграм з перетином(H_2 _перетин): 4.14993

Надлишковість для біграм з перетином(R_2 _перетин): 0.58866

Ентропія для біграм без перетину(H_2 _без_перетин): 4.14844

Надлишковість для біграм без перетину(R_2 _без_перетин): 0.58881

Приклад виконаного коду:

```
Аналіз завершено. Результати збережено у файлі 'lab1_results.xlsx'
```

```
=== Метрики для тексту З ПРОБІЛАМИ ===
```

```
H1: 4.45644
```

```
R1 (з пробілом): 0.12404
```

```
H2_Перетин: 4.06666
```

```
R2_Перетин (з пробілом): 0.60033
```

```
H2_Без_Перетин: 4.06548
```

```
R2_Без_Перетин (з пробілом): 0.60044
```

```
=== Метрики для тексту БЕЗ ПРОБІЛІВ ===
```

```
H1: 4.47207
```

```
R1 (без пробілу): 0.11346
```

```
H2_Перетин: 4.14993
```

```
R2_Перетин (без пробілу): 0.58866
```

```
H2_Без_Перетин: 4.14844
```

```
R2_Без_Перетин (без пробілу): 0.58881
```

Монограми з пробілами:

Літера	Частота
	0,125113
о	0,100454
е	0,068929
и	0,064071
а	0,063515
н	0,055182
л	0,049813
т	0,048268
с	0,045624
р	0,03965
в	0,037338
к	0,029454
д	0,027944
м	0,027172
п	0,024762
у	0,024709
б	0,02047
ь	0,020291
г	0,01855
ы	0,018386
я	0,016177
з	0,014833
ч	0,012646
х	0,008954
й	0,008412
ж	0,007436
ш	0,007092
ю	0,004486
э	0,003036
щ	0,003016
ц	0,002337
ф	0,001639
ъ	0,000231
ё	1,01E-05

Монограми без пробілів:

Літера	Частота
о	0,114819
е	0,078786
и	0,073233
а	0,072598
н	0,063073
л	0,056937
т	0,05517
с	0,052148
р	0,04532
в	0,042678
к	0,033666
д	0,03194
м	0,031058
п	0,028303
у	0,028243
б	0,023397
ь	0,023193
г	0,021202
ы	0,021016
я	0,018491
з	0,016954
ч	0,014455
х	0,010235
й	0,009614
ж	0,0085
ш	0,008106
ю	0,005128
э	0,00347
щ	0,003447
ц	0,002671
ф	0,001873
ъ	0,000264
ё	1,15E-05

Біграми з перетином та пробілами:

		а	б	в	г	д	е	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п
	0	0,001	0,006	0,013	0,004	0,006	0,002	0,001	0,004	0,011	0	0,007	0,002	0,004	0,012	0,009	0,013
а	0,008	0	0,001	0,003	0,001	0,003	0,001	0,001	0,004	0	0,001	0,005	0,01	0,004	0,003	0	0,002
б	0	0,001	0,001	0	0	0	0,002	0	0	0,003	0	0	0,001	0	0,001	0,004	0
в	0,002	0,005	0	0	0	0,001	0,005	0	0,001	0,003	0	0,001	0,001	0	0,001	0,006	0,001
г	0,001	0,001	0	0	0	0,001	0	0	0	0,001	0	0	0,002	0	0,002	0,008	0
д	0,001	0,005	0	0,001	0	0	0,004	0	0	0,002	0	0	0,001	0	0,002	0,004	0
е	0,014	0	0,002	0,002	0,003	0,003	0,001	0,001	0,002	0	0,002	0,001	0,005	0,004	0,006	0,001	0,002
ж	0	0,001	0	0	0	0,001	0,003	0	0	0,001	0	0	0	0	0,001	0	0
з	0,001	0,006	0	0,001	0	0,001	0,001	0	0	0	0	0	0,001	0	0,001	0,001	0
и	0,014	0	0,001	0,003	0,001	0,002	0,002	0	0,002	0	0,001	0,003	0,008	0,002	0,005	0,001	0,002
й	0,006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
к	0,002	0,007	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,003	0	0	0,001	0	0,001	0,009	0
л	0,007	0,004	0	0	0	0	0,005	0	0	0,012	0	0,001	0	0	0	0,006	0
м	0,007	0,002	0	0	0	0	0,004	0	0	0,003	0	0	0	0	0,002	0,003	0
н	0,003	0,01	0	0	0	0,001	0,009	0	0	0,008	0	0	0	0	0,002	0,01	0
о	0,015	0	0,005	0,007	0,005	0,006	0,002	0,002	0,002	0,001	0,003	0,003	0,007	0,007	0,007	0,001	0,002
п	0	0,002	0	0	0	0	0,003	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,01	0
р	0,001	0,008	0	0	0	0	0,006	0	0	0,005	0	0	0	0	0,001	0,008	0
с	0,001	0,001	0	0,001	0	0	0,003	0	0	0,001	0	0,004	0,003	0,001	0,002	0,003	0,002
т	0,004	0,005	0	0,002	0	0	0,005	0	0	0,003	0	0,001	0	0	0,001	0,012	0
у	0,005	0	0,001	0,001	0,001	0,002	0	0,001	0	0	0	0,001	0,002	0,001	0,001	0	0,001
ф	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
х	0,004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,003	0
ц	0	0,001	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ч	0	0,002	0	0	0	0	0,003	0	0	0,002	0	0	0	0	0,001	0	0
ш	0	0,001	0	0	0	0	0,002	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0	0
щ	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0
ъ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ы	0,005	0	0	0,001	0	0	0,002	0	0	0	0,002	0	0,002	0,001	0	0	0
ь	0,011	0	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0
э	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0,001	0	0
ю	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
я	0,009	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0,001	0,001	0,001	0	0
ё	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

[illegible]

Біграми без перетину та з пробілами:

		а	б	в	г	д	е	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п
	0	0,001	0,006	0,013	0,004	0,006	0,002	0,001	0,004	0,011	0	0,007	0,002	0,004	0,012	0,009	0,013
а	0,008	0	0,001	0,003	0,001	0,002	0,001	0,001	0,004	0	0,001	0,005	0,01	0,004	0,003	0	0,001
б	0	0,001	0,001	0	0	0	0,002	0	0	0,003	0	0	0,001	0	0	0,004	0
в	0,002	0,005	0	0	0	0,001	0,005	0	0,001	0,003	0	0,001	0,001	0	0,002	0,006	0,001
г	0,001	0,001	0	0	0	0,001	0	0	0	0,001	0	0	0,002	0	0,002	0,008	0
д	0,001	0,005	0	0,001	0	0	0,004	0	0	0,002	0	0	0,001	0	0,002	0,004	0
е	0,014	0	0,002	0,002	0,003	0,003	0,001	0,001	0,002	0	0,002	0,001	0,005	0,004	0,005	0,001	0,002
ж	0	0,001	0	0	0	0,001	0,003	0	0	0,001	0	0	0	0	0,001	0	0
з	0,001	0,006	0	0,001	0	0,001	0,001	0	0	0	0	0	0,001	0	0,001	0,001	0
и	0,014	0	0,001	0,003	0,001	0,002	0,002	0	0,002	0	0,001	0,003	0,008	0,002	0,005	0,001	0,002
й	0,006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
к	0,002	0,007	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,003	0	0	0,001	0	0,001	0,009	0
л	0,007	0,004	0	0	0	0	0,005	0	0,012	0	0	0,001	0,001	0	0	0,006	0
м	0,007	0,002	0	0	0	0	0,004	0	0	0,003	0	0	0	0	0,002	0,003	0
н	0,003	0,01	0	0	0	0,001	0,009	0	0	0,008	0	0	0	0	0,002	0,01	0
о	0,015	0	0,005	0,007	0,005	0,006	0,002	0,002	0,001	0,001	0,003	0,003	0,007	0,007	0,007	0,001	0,002
п	0	0,002	0	0	0	0	0,003	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,01	0
р	0,001	0,008	0	0	0	0	0,007	0	0	0,005	0	0	0	0	0,001	0,009	0
с	0,001	0,001	0	0,001	0	0	0,004	0	0	0,001	0	0,004	0,003	0,001	0,002	0,003	0,002
т	0,004	0,005	0	0,002	0	0	0,005	0	0	0,003	0	0,001	0	0	0,001	0,012	0
у	0,005	0	0,001	0,001	0,001	0,002	0	0,001	0	0	0	0,001	0,002	0,001	0,001	0	0,001
ф	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
х	0,004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,003	0
ц	0	0,001	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ч	0	0,002	0	0	0	0	0,003	0	0	0,001	0	0	0	0	0,001	0	0
ш	0	0,001	0	0	0	0	0,002	0	0	0,001	0	0,001	0,001	0	0	0	0
щ	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0
ъ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ы	0,005	0	0	0,001	0	0	0,002	0	0	0	0,002	0	0,002	0,001	0	0	0
ь	0,011	0	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0
э	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0,001	0	0
ю	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
я	0,008	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0,001	0,001	0,001	0	0
ё	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

[illegible]

Біграми з перетином та без пробілів:

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п
а	0	0,002	0,004	0,001	0,003	0,001	0,001	0,004	0,001	0,001	0,006	0,012	0,005	0,004	0,001	0,003
б	0,001	0,001	0	0	0	0,003	0	0	0,004	0	0	0,001	0	0,001	0,005	0
в	0,006	0	0	0	0,001	0,006	0	0,001	0,003	0	0,001	0,001	0	0,002	0,008	0,001
г	0,002	0	0	0	0,001	0	0	0	0,001	0	0	0,002	0	0,002	0,009	0
д	0,006	0	0,001	0	0	0,005	0	0	0,003	0	0,001	0,001	0	0,003	0,005	0
е	0	0,003	0,004	0,004	0,004	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,006	0,006	0,008	0,002	0,003
ж	0,001	0	0	0	0,001	0,003	0	0	0,002	0	0	0	0	0,001	0	0
з	0,006	0	0,001	0	0,001	0,001	0	0	0	0	0	0,001	0	0,001	0,001	0
и	0	0,002	0,005	0,002	0,003	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001	0,004	0,009	0,003	0,008	0,002	0,003
й	0	0	0,001	0	0,001	0	0	0	0,001	0	0,001	0	0	0,001	0,001	0,001
к	0,008	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,004	0	0	0,001	0	0,001	0,01	0
л	0,004	0,001	0,001	0,001	0	0,006	0	0	0,014	0	0,001	0,001	0	0,001	0,007	0,001
м	0,003	0,001	0,001	0	0,001	0,004	0	0	0,004	0	0,001	0	0	0,003	0,004	0,001
н	0,011	0	0,001	0	0,001	0,011	0	0	0,009	0	0	0	0	0,003	0,012	0,001
о	0	0,007	0,01	0,006	0,008	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004	0,004	0,009	0,008	0,01	0,002	0,004
п	0,002	0	0	0	0	0,003	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,011	0
р	0,009	0	0,001	0	0	0,007	0	0	0,006	0	0,001	0	0	0,002	0,01	0
с	0,002	0	0,002	0	0	0,004	0	0	0,002	0	0,004	0,004	0,001	0,002	0,003	0,002
т	0,006	0	0,003	0	0	0,006	0	0	0,004	0	0,001	0	0	0,002	0,013	0,001
у	0	0,001	0,001	0,002	0,002	0	0,002	0,001	0,001	0	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001
ф	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
х	0,001	0	0,001	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0,001	0,004	0,001
ц	0,001	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ч	0,003	0	0	0	0	0,004	0	0	0,002	0	0,001	0	0	0,001	0	0
ш	0,001	0	0	0	0	0,002	0	0	0,002	0	0,001	0,001	0	0	0	0
щ	0,001	0	0	0	0	0,002	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0
ъ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ы	0	0,001	0,002	0	0	0,002	0	0	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
ь	0	0,002	0,001	0	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0	0,002	0	0,001	0,002	0,001	0,

[illegible]

Біграми без перетину та без пробілів:

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п
а	0	0,002	0,004	0,001	0,003	0,001	0,002	0,005	0,001	0,001	0,006	0,012	0,005	0,004	0,001	0,003
б	0,001	0,001	0	0	0	0,003	0	0	0,004	0	0	0,001	0	0,001	0,005	0
в	0,006	0	0	0	0,001	0,006	0	0,001	0,003	0	0,001	0,001	0	0,002	0,008	0,001
г	0,002	0	0	0	0,001	0	0	0	0,001	0	0	0,002	0	0,002	0,01	0
д	0,006	0	0,001	0	0	0,005	0	0	0,002	0	0,001	0,001	0	0,003	0,005	0
е	0	0,003	0,004	0,004	0,004	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,007	0,006	0,008	0,002	0,003
ж	0,001	0	0	0	0,001	0,003	0	0	0,001	0	0	0	0	0,001	0	0
з	0,006	0	0,001	0	0,001	0,001	0	0	0	0	0	0,001	0	0,002	0,001	0
и	0	0,002	0,005	0,002	0,003	0,002	0	0,003	0,002	0,001	0,004	0,009	0,003	0,008	0,002	0,003
й	0	0	0,001	0	0,001	0	0	0	0,001	0	0,001	0	0	0,001	0,001	0,001
к	0,008	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,004	0	0	0,001	0	0,001	0,01	0
л	0,004	0,001	0,001	0,001	0	0,005	0	0	0,014	0	0,001	0,001	0	0,001	0,007	0,001
м	0,003	0,001	0,001	0	0,001	0,004	0	0	0,004	0	0,001	0	0	0,003	0,004	0,001
н	0,011	0	0,001	0	0,001	0,011	0	0	0,009	0	0	0	0	0,003	0,012	0,001
о	0	0,006	0,009	0,006	0,007	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004	0,004	0,008	0,008	0,01	0,002	0,004
п	0,002	0	0	0	0	0,003	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,011	0
р	0,009	0	0,001	0	0	0,007	0	0	0,006	0	0,001	0	0	0,002	0,01	0
с	0,002	0	0,002	0	0	0,004	0	0	0,002	0	0,004	0,004	0,001	0,002	0,003	0,002
т	0,006	0	0,003	0	0	0,005	0	0	0,004	0	0,001	0	0	0,002	0,014	0,001
у	0	0,001	0,001	0,002	0,002	0	0,002	0,001	0,001	0	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
ф	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
х	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0,001	0,004	0,001
ц	0,001	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ч	0,003	0	0	0	0	0,004	0	0	0,002	0	0	0	0	0,001	0	0
ш	0,001	0	0	0	0	0,002	0	0	0,002	0	0,001	0,001	0	0	0	0
щ	0,001	0	0	0	0	0,002	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0
ъ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ы	0	0,001	0,002	0	0	0,002	0	0	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0	0,001
ь	0	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0	0,002	0	0,001	0,002	0,001	0,001
э	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0,001	0	0
ю	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
я	0	0,001	0,002	0	0,001	0	0	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
ѐ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

[illegible]

Cool Pink Program:

Значения H(10):

Лабораторная работа №1

Произвольная часть текста:
ли_не_упа

Использованные буквы:

Порядок n-граммы:

5 символов
10 символов
15 символов
20 символов
25 символов
30 символов
35 символов
40 символов
45 символов
50 символов

Введенный символ:

Символ по счету:

Номер эксперимента: 51

Поле ввода символов:

Продолжить

Другой

Неравенство для энтропии:
4,5665430750496< H < 4,47127238011291

Двоичная таблица угаданных символов:

00000100000000000000000000000000
00000000000000000000000000000000
00000000000000000000000000000000
00001000000000000000000000000000
00001000000000000000000000000000
00000000000000000000000000000000

Вероятности:

q[1]=0,06
q[2]=0,02
q[3]=0,06
q[4]=0,04
q[5]=0,1
q[6]=0,08
q[7]=0,06
q[8]=0,02
q[9]=0
q[10]=0,02
q[11]=0
q[12]=0,04
q[13]=0
q[14]=0,04
q[15]=0,04
q[16]=0,02
q[17]=0,04
q[18]=0
q[19]=0,06
q[20]=0,02
q[21]=0
q[22]=0,02
q[23]=0,02
q[24]=0,02
q[25]=0,02
q[26]=0,04
q[27]=0,02
q[28]=0,02
q[29]=0,02
q[30]=0,08
q[31]=0
q[32]=0,02

Строка состояния:

Значения H(20):

Лабораторная работа №1

Произвольная часть текста:
го_то_старого_своег

Использованные буквы:

Порядок n-граммы:

5 символов
10 символов
15 символов
20 символов
25 символов
30 символов
35 символов
40 символов
45 символов
50 символов

Введенный символ:

Символ по счету:

Номер эксперимента: 51

Поле ввода символов:

Продолжить

Другой

Неравенство для энтропии:
2,30675572775235< H < 3,11560158279904

Двоичная таблица угаданных символов:

10000000000000000000000000000000
00001000000000000000000000000000
00000000000000000000000000000000
00001000000000000000000000000000
01000000000000000000000000000000
00000000000000000000000000000000

Вероятности:

q[1]=0,4
q[2]=0,2
q[3]=0,06
q[4]=0,02
q[5]=0,04
q[6]=0,02
q[7]=0
q[8]=0,02
q[9]=0
q[10]=0
q[11]=0
q[12]=0,02
q[13]=0
q[14]=0,02
q[15]=0,02
q[16]=0,02
q[17]=0,02
q[18]=0,02
q[19]=0
q[20]=0,02
q[21]=0
q[22]=0
q[23]=0
q[24]=0,02
q[25]=0,02
q[26]=0,02
q[27]=0,02
q[28]=0
q[29]=0
q[30]=0
q[31]=0,02
q[32]=0

Строка состояния:

Значення $H(30)$:

Лабораторная работа №1

Произвольная часть текста:
ый_человек_знает_его_инстинкт

Использованные буквы:

Порядок n-граммы:
 5 символов
 10 символов
 15 символов
 20 символов
 25 символов
 30 символов
 35 символов
 40 символов
 45 символов
 50 символов

Введенный символ:

Символ по счету:

Номер эксперимента: 51

Неравенство для энтропии:
 $1.94878824639127 < H < 2.57043582138757$

Двоичная таблица угаданных символов:

Поле ввода символов:

Продолжить Другой

Вероятности:

$q[1] = 0.44$
 $q[2] = 0.22$
 $q[3] = 0.06$
 $q[4] = 0.02$
 $q[5] = 0$
 $q[6] = 0.06$
 $q[7] = 0$
 $q[8] = 0$
 $q[9] = 0$
 $q[10] = 0$
 $q[11] = 0.04$
 $q[12] = 0.02$
 $q[13] = 0.04$
 $q[14] = 0.04$
 $q[15] = 0$
 $q[16] = 0$
 $q[17] = 0$
 $q[18] = 0.02$
 $q[19] = 0$
 $q[20] = 0.04$
 $q[21] = 0$
 $q[22] = 0$
 $q[23] = 0$
 $q[24] = 0$
 $q[25] = 0$
 $q[26] = 0$
 $q[27] = 0$
 $q[28] = 0$
 $q[29] = 0$
 $q[30] = 0$
 $q[31] = 0$
 $q[32] = 0$

Строка состояния:

Порядок n-грами	Ентропія	Надлишковість
10 символів	$4.566 < H < 4.471$	$0.0868 < R < 0.1058$
20 символів	$2.307 < H < 3.116$	$0.5386 < R < 0.3768$
30 символів	$1.949 < H < 2.570$	$0.6102 < R < 0.486$

Висновки:

В ході виконання лабораторної роботи ми закріпили теоретичний матеріал, а саме: що таке ентропія на символі джерела, надлишковість, біграми, дослідили на прикладі роману "Гобіт" наближене значення ентропії.

Під час аналізу тексту, ми підтвердили факт, що в російському алфавіті найчастіше зустрічається пробіл, або якщо ігнорувати його то літера "о" (на нашому прикладі). З цього можна зробити висновки, що при шифруванні слід уникати пробілу та звертати увагу на інші популярні літери, для ускладнення зламу шифрування.