

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

КРИПТОГРАФІЯ
КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРАКТИКУМ №1

Експериментальна оцінка ентропії на символ джерела
відкритого текст

Виконали
Студенти групи ФБ-22:
Філонов Дмитро
Швайка Олексій

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.

Постановка задачі:

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 $(10) H$, $(20) H$, $(30) H$.
3. Використовуючи отримані значення ентропії, оцінити надлишковість російської мови в різних моделях джерела.

Хід роботи

Спочатку ми обрахували кількість та частоту літер(біграм) в тексті для кожного випадку

Для літер

```
# розрахунок кількості монограм, їхньої частоти, ентропії та надлишковості
# побудова датафрейму з даними
def monograms(text, alphabet, spaces):
    monogram_counts = Counter(text)
    total_letters = sum(monogram_counts.values())

    freq = frequency(monogram_counts, total_letters)
    H1 = entropy(freq)
    redundance_res = redundance(H1, alphabet)

    df = make_dataframe('Monogram', spaces, total_letters, monogram_counts)

    return freq, H1, redundance_res, df
```

Для біграм(що перетинаються)

```
def bigrams(text, alphabet, spaces):
    bigrams = [text[i:i+2] for i in range(len(text)-1)]
    bigram_counts = Counter(bigrams)
    total_bigrams = len(text)

    freq = frequency(bigram_counts, total_bigrams)
    H2 = entropy(freq) / 2
    redundance_res = redundance(H2, alphabet)

    df = make_dataframe('Bigram', spaces, total_bigrams, bigram_counts)
    matrix = build_matrix(alphabet, bigram_counts, total_bigrams, 'bigram_matrix', spaces)

    return freq, H2, redundance_res, df, matrix
```

(variable) bigram_counts: Counter

Для біграм(що не перетинаються)

```
def bigrams_with_step_2(text, alphabet, spaces):
    bigrams = [text[i:i+2] for i in range(0, len(text)-1, 2)]
    bigram_counts = Counter(bigrams)
    total_bigrams = len(bigrams)

    freq = frequency(bigram_counts, total_bigrams)
    H2 = entropy(freq) / 2
    redundance_res = redundance(H2, alphabet)

    df = make_dataframe('Step2_Bigram', spaces, total_bigrams, bigram_counts)
    matrix = build_matrix(alphabet, bigram_counts, total_bigrams, 'bigram_matrix_step2', spaces)

    return freq, H2, redundance_res, df, matrix
```

Функція для обчислення частоти

```
# розрахунок частоти
def frequency(sum, total):
    freq = {}
    for value in sum:
        freq[value] = sum[value] / total

    return freq
```

Частота і кількість літер в тексті (з пробілами)

	Count	Frequency
	147480	0,166307
о	83985	0,094706
а	59830	0,067468
е	54245	0,06117
и	50790	0,057274
н	48715	0,054934
т	46469	0,052401
л	40603	0,045786
с	38968	0,043943
р	30598	0,034504
в	28542	0,032186
к	27624	0,03115
д	23454	0,026448
м	23149	0,026104
у	21124	0,023821
п	19944	0,02249
ы	14504	0,016356

ь	13948	0,015729
б	13667	0,015412
я	13546	0,015275
з	13303	0,015001
г	12668	0,014285
ч	10640	0,011998
й	8389	0,00946
ж	7735	0,008722
х	6691	0,007545
ш	5929	0,006686
ю	5639	0,006359
э	4245	0,004787
ё	4131	0,004658
щ	2438	0,002749
ц	2078	0,002343
ф	1563	0,001763
ъ	160	0,00018

Частота і кількість літер в тексті (без пробілів)

Letter	Count	Frequency	ь	13948	0,018866
о	83985	0,113599	б	13667	0,018486
а	59830	0,080926	я	13546	0,018322
е	54245	0,073372	з	13303	0,017994
и	50790	0,068699	г	12668	0,017135
н	48715	0,065892	ч	10640	0,014392
т	46469	0,062854	й	8389	0,011347
л	40603	0,05492	ж	7735	0,010462
с	38968	0,052708	х	6691	0,00905
р	30598	0,041387	ш	5929	0,00802
в	28542	0,038606	ю	5639	0,007627
к	27624	0,037364	э	4245	0,005742
д	23454	0,031724	ё	4131	0,005588
м	23149	0,031311	щ	2438	0,003298
у	21124	0,028572	ц	2078	0,002811
п	19944	0,026976	ф	1563	0,002114
ы	14504	0,019618	ъ	160	0,000216

Частота пересічних біграм(з пробілами)

	а	б	в	г	д	е	ё	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п	р
а	3,8E-05	0,00096	0,00235	0,00071	0,00208	0,00096	3,5E-05	0,00117	0,00392	7,4E-05	0,00098	0,00412	0,00968	0,00231	0,00305	3,3E-05	0,0008	0,00208
б	0,00089	2,6E-05	1E-05	1,1E-06	1,6E-05	0,00167	0,00013	1,1E-05	3,4E-06	0,00123	0	0,00018	0,00075	2,8E-05	0,00035	0,0022	1,1E-06	0,00107
в	0,00457	9E-06	5,5E-05	5,6E-06	0,00021	0,00446	0,00014	0	0,00046	0,00279	0	0,00027	0,00053	0,00016	0,00092	0,0051	0,00018	0,00059
г	0,001	3,4E-06	5,6E-06	2E-05	0,00132	0,00028	0	0	3,4E-06	0,00058	0	0,00013	0,00143	0	0,00034	0,00645	0	0,00093
д	0,0041	3,8E-05	0,00098	2E-05	3,6E-05	0,00498	0,0003	0,00098	1E-05	0,00251	0	0,00037	0,00058	4,8E-05	0,00177	0,00366	0,00011	0,00086
е	0,00011	0,00102	0,00111	0,00277	0,00232	0,00058	0,00079	0,00065	0,00108	5,1E-05	0,00223	0,00106	0,00482	0,00309	0,00567	0,00013	0,00074	0,00635
ё	0	1E-05	2,6E-05	5,5E-05	0,00011	0	0	1,5E-05	7,9E-05	0	9E-06	7E-05	0,00042	0,00038	0,00042	0	3,6E-05	0,00026
ж	0,00113	2,7E-05	1,1E-06	9E-06	0,00062	0,00319	8,9E-05	2,3E-05	0	0,00119	0	9,9E-05	5,6E-06	1,1E-05	0,00111	0,00046	0	0
з	0,00634	0,00011	0,00075	0,00028	0,00091	0,00022	9E-06	8,5E-05	2,3E-05	0,00045	0	0,00013	0,0002	0,00036	0,00151	0,00065	0	0,00024
и	0,00013	0,00046	0,0016	0,00099	0,00155	0,00162	1E-05	0,00024	0,00187	0,00052	0,00079	0,0025	0,00513	0,00305	0,00376	0,00021	0,00015	0,00084
й	7,9E-06	1,1E-06	0,00049	3,4E-06	0,00017	9E-06	0	0	1,5E-05	0	0	8,9E-05	0,00012	0,00013	0,0003	4,4E-05	1,8E-05	0,00015
к	0,00763	1,1E-06	9,1E-05	1,1E-06	1,1E-06	0,00078	1,1E-06	6,5E-05	6,8E-06	0,00285	0	2,6E-05	0,00071	7,9E-06	0,00034	0,00781	0	0,00184
л	0,00652	4,4E-05	5,1E-05	0,00014	5,9E-05	0,00386	0,00033	0,00044	2,7E-05	0,00731	0	0,00038	0,0005	8,3E-05	0,00024	0,00533	1,8E-05	0
м	0,0031	4,6E-05	2,3E-06	3,4E-05	0	0,00297	6,7E-05	0	0	0,00283	0	0,00012	0,00011	9,7E-05	0,00129	0,00396	0,00022	3,2E-05
н	0,01032	1,1E-06	2E-05	0,00016	0,00073	0,0083	0,00021	1,7E-05	3,3E-05	0,00759	0	0,00035	9E-06	0	0,00197	0,00967	1,1E-06	7,7E-05
о	1,1E-05	0,00329	0,00611	0,00444	0,0043	0,00141	0,00012	0,00208	0,00121	0,00069	0,00324	0,00217	0,00605	0,00507	0,00864	0,00013	0,00116	0,00561
п	0,00163	0	0	1,1E-06	0	0,00189	1,9E-05	0	0	0,0008	0	9,4E-05	0,0008	0	9,7E-05	0,0098	0,0001	0,00553
р	0,00642	0,00015	0,00027	0,00018	0,00044	0,00519	0,00022	0,00025	3,6E-05	0,00473	0	0,00028	0,0001	0,0003	0,00093	0,00669	5,5E-05	0,00011
с	0,00122	0,00049	0,00107	1,6E-05	0,00034	0,00208	0,00078	3,5E-05	7,9E-06	0,00239	0	0,00349	0,00287	0,00106	0,0011	0,00251	0,00161	0,0002
т	0,00582	0,0001	0,00158	4,5E-06	6,8E-05	0,00529	9,9E-05	1,1E-06	1,1E-06	0,00424	0	0,00073	0,00016	4,3E-05	0,00093	0,01441	0,00019	0,0025
у	7,9E-05	0,00066	0,00077	0,00072	0,00167	0,00014	1,1E-06	0,00123	0,00041	0,00016	0,00013	0,00094	0,00194	0,00138	0,00038	2,1E-05	0,00054	0,00051
ф	0,00023	3,4E-06	0	4,5E-06	0	0,00012	1,1E-06	0	0	0,00039	0	3,4E-06	9,9E-05	0	3,4E-06	0,00037	2,3E-06	0,00014
х	0,00073	0	0,00019	2,3E-06	0	0,00036	0	0	1,1E-06	0,00021	0	3,4E-06	0,00012	6,8E-05	0,00025	0,00217	4,5E-06	0,00015
ц	0,00044	0	6,4E-05	2,3E-06	0	0,00066	0	0	1,1E-06	0,00058	0	1,5E-05	0	0	1,1E-06	0,00014	0	1,1E-06
ч	0,00172	1,1E-06	1,1E-06	0	0	0,00231	0,0003	0	0	0,00167	0	0,00056	1,4E-05	1,4E-05	0,00085	0,0001	3,4E-06	2E-05
ш	0,00106	0	3,7E-05	0	0	0,00163	0,00031	0	0	0,00116	0	0,00044	0,00045	1,1E-05	0,00018	0,0003	1E-05	6,8E-06
щ	0,00033	0	0	1,1E-06	0	0,00069	0,00062	0	0	0,00089	0	0	0	0	6,9E-05	1,1E-06	0	2,3E-06
ъ	0	0	0	0	0	0,0001	1,1E-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ы	0	0,00032	0,00073	0,00023	8,3E-05	0,00099	0	5,2E-05	6,8E-05	1,1E-05	0,00133	0,00018	0,00303	0,00111	0,00011	0	0,00015	0,00023
ь	0	3,9E-05	1,2E-05	4,3E-05	5,8E-05	0,00017	6,8E-05	0	0,00018	2,3E-05	0	0,00011	0	0,00026	0,00131	2,3E-06	0	1,1E-06
э	7,9E-06	1,1E-06	0,00012	5,6E-06	0,00011	2,3E-06	0	0	0	0	0,00063	0,00019	0,0002	5,6E-05	0,00027	0	7,9E-06	7,8E-05
ю	1,1E-06	0,00017	2,3E-06	1,7E-05	0,0004	0	1,1E-06	7,7E-05	7,9E-06	0	1,6E-05	0,00176	2,3E-05	4,2E-05	4,8E-05	0	7,6E-05	2,9E-05
я	0	2,1E-05	0,00027	6,9E-05	0,00063	6E-05	0	0,00011	0,00024	2,3E-06	5E-05	0,00014	0,00101	0,00032	0,00045	0	1,8E-05	6,7E-05
	0,00191	0,00741	0,01342	0,00335	0,00823	0,00419	5,6E-06	0,0012	0,00532	0,00937	6,3E-05	0,00916	0,00392	0,00661	0,01628	0,01236	0,01628	0,00401

с	т	у	ф	х	ц	ч	ш	щ	ъ	ы	ь	э	ю	я	
0,0035	0,00456	0,00043	7,7E-05	0,00093	0,00024	0,00083	0,00056	0,00028	0	0	0	1,4E-05	0,00115	0,00133	0,01822
0,00012	2,3E-06	0,0012	0	4,5E-05	4,5E-06	4,5E-06	2,3E-06	0,00013	7,7E-05	0,00451	3,2E-05	5,6E-06	4,5E-06	0,00044	0,00026
0,00206	0,00029	0,00057	2,3E-06	2,8E-05	9E-06	2,3E-05	0,00028	3,4E-06	5,6E-06	0,00229	0,00012	2,3E-05	0	0,00021	0,00582
0,00041	3,8E-05	0,00062	1,1E-06	0	0	5E-05	1,7E-05	0	0	0	0	3,4E-06	0	0	0,00066
0,00027	0,00022	0,00185	0	1,7E-05	0,00021	1,1E-05	5E-05	0	2,6E-05	0,00043	0,0003	5,2E-05	0,00013	0,00031	0,00122
0,00385	0,00477	6,1E-05	0,00018	0,00035	0,00022	0,00059	0,00076	0,00066	0	0	0	0	0,0001	0,00019	0,01486
9,2E-05	0,00048	1,1E-06	0	4,4E-05	0	2,3E-05	4,8E-05	0	0	0	0	0	0	0	0,00209
5,6E-06	0	0,00025	0	0	1,1E-06	0,00012	2,3E-06	0	0	0	1,8E-05	0	0	0	0,00036
3,4E-06	1,9E-05	0,00031	0	0	7,9E-06	1,4E-05	2,3E-06	0	1,1E-05	0,00036	0,00012	1,1E-06	0	0,00018	0,00172
0,00353	0,00369	1,4E-05	0,00022	0,00163	0,00064	0,00085	0,00092	7,9E-05	0	0	0	2,3E-06	0,00027	0,00091	0,01911
0,00039	0,00034	0	1,5E-05	2,3E-06	1,9E-05	0,00018	2,7E-05	0	0	0	0	0	0	3,3E-05	0,0069
0,00043	0,00083	0,00166	0	0,00032	5,8E-05	0	4,5E-06	0	0	0	4,5E-06	2E-05	1,1E-06	0	0,00567
0,00168	6,4E-05	0,00121	5,6E-06	5,3E-05	0	8,5E-05	9E-06	2,3E-06	0	0,0008	0,00423	0,00015	0,0026	0,00149	0,00806
0,00017	5,6E-06	0,00179	2,3E-06	2,3E-06	2,3E-06	3,9E-05	3,4E-06	1,1E-06	0	0,0009	7,7E-05	0,00012	0	0,00038	0,00774
0,00072	0,00066	0,00288	6,7E-05	1,5E-05	0,00026	0,00016	1,9E-05	0,0002	1,1E-05	0,00304	0,00099	5,6E-06	0,00014	0,00125	0,00506
0,00548	0,00661	0,00014	0,00019	0,00061	9,5E-05	0,00188	0,00085	0,00033	0	0	0	6,8E-05	0,00014	0,00084	0,02173
3,5E-05	8,2E-05	0,00071	0	0	4,5E-06	1,7E-05	3,4E-06	0	0	0,00036	9,6E-05	1,5E-05	1,1E-06	0,00025	0,00016
0,00027	0,00066	0,00255	3,6E-05	0,00012	2,1E-05	7,6E-05	0,0001	3,9E-05	0	0,00159	0,00064	4,3E-05	9E-05	0,00082	0,00112
0,00096	0,00925	0,00055	2,1E-05	0,00019	6E-05	0,00024	6,4E-05	1,1E-06	4,1E-05	0,00032	0,00278	4,7E-05	0,00012	0,00392	0,00412
0,00119	0,00012	0,00134	2E-05	1,2E-05	1,8E-05	8E-05	1,6E-05	3,4E-06	9E-06	0,00161	0,00547	1,7E-05	3,8E-05	0,00061	0,00571
0,00146	0,00171	2,1E-05	1E-05	0,00038	3,4E-06	0,00095	0,0004	0,00021	0	0	0	3,7E-05	0,00089	5E-05	0,00601
1,1E-06	5,9E-05	0,00013	3,9E-05	0	0	3,4E-06	1,1E-06	0	0	6,8E-06	0	1,4E-05	4,5E-06	0	0,00013
3,4E-05	7,9E-06	0,00014	0	0	0	0	5,6E-06	0	0	0	3,4E-06	1,4E-05	0	0	0,00308
0	0	9,9E-05	0	0	2,6E-05	0	0	0	0	0,00012	0	0	0	0	0,00019
0	0,0035	0,00052	0	0	0	1,1E-06	0,00018	0	0	0	0,00018	0	0	0	5,8E-05
0	0,00018	0,00019	0	0	4,5E-06	2,3E-06	0	0	0	0	0,00064	0	1,1E-06	0	7,8E-05
0	0	0,0001	0	0	0	0	0	0	0	0	4,6E-05	0	0	0	3,4E-06
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,8E-05	0
0,00055	0,00079	3,4E-06	0	0,00076	7,9E-06	0,00014	0,00048	7,9E-06	0	0	0	0	0	3E-05	0,00493
0,00094	0,00014	0	4,6E-05	2,3E-06	0,00014	0,00027	0,00072	5,6E-06	0	0	0	0	0,0004	0,00017	0,00963
2,4E-05	0,00298	0	9E-06	6,8E-06	0	0	6,4E-05	0	0	0	0	1E-05	0	2,3E-06	1,6E-05
0,00015	0,00057	0	0	1,1E-05	4,5E-06	0,00023	1E-05	0,00044	0	0	0	0	7E-05	1,1E-06	0,00221
0,00036	0,00132	0	0	0,00016	4,1E-05	7,7E-05	1,8E-05	0,00026	0	0	0	0	0,00011	9E-05	0,00939
0,01526	0,00846	0,00445	0,00082	0,00185	0,00024	0,00505	0,00106	0,0001	0	0	0	0,00414	9,8E-05	0,00169	0

Частота пересічних біграм(без пробілів)

	а	б	в	г	д	е	ё	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п
а	0,000368	0,002051	0,00432	0,001223	0,003373	0,00184	4,6Е-05	0,001504	0,005548	0,001242	0,001147	0,006382	0,011954	0,003749	0,005962	0,00171	0,003016
б	0,001066	3,25Е-05	2,16Е-05	2,71Е-06	2,98Е-05	0,002021	0,00017	1,35Е-05	2,71Е-06	0,001485	0	0,000211	0,000922	3,79Е-05	0,00043	0,002705	1,62Е-05
в	0,005529	0,000289	0,000395	0,000314	0,000617	0,005608	0,000157	4,87Е-05	0,000768	0,003568	2,71Е-06	0,00102	0,000809	0,000473	0,001604	0,006544	0,000931
г	0,001225	0,000103	5,41Е-05	4,33Е-05	0,001555	0,000344	0	2,71Е-06	4,6Е-05	0,000698	0	0,000165	0,001639	2,16Е-05	0,000519	0,007745	0,0001
д	0,004964	0,000103	0,001234	5,95Е-05	0,000103	0,006049	0,000354	0,001188	4,06Е-05	0,003135	0	0,000555	0,000768	8,93Е-05	0,00231	0,004439	0,0003
е	0,000276	0,002226	0,002792	0,003595	0,003703	0,00105	0,00089	0,000906	0,002145	0,000925	0,002648	0,002032	0,006114	0,004512	0,008619	0,001455	0,002546
ё	8,12Е-06	0,0002	0,000225	0,000016	0,000254	0,000149	0	9,74Е-05	0,000179	0,0001	1,89Е-05	0,000138	0,000519	0,000563	0,000655	0,000246	0,000241
ж	0,00135	5,95Е-05	3,52Е-05	1,62Е-05	0,000766	0,003722	0,0001	2,71Е-05	2,71Е-06	0,001499	0	0,000154	1,08Е-05	3,25Е-05	0,001396	0,000565	2,16Е-05
з	0,007583	0,000168	0,001131	0,000376	0,001177	0,000295	1,35Е-05	0,000135	0,000214	0,000611	0	0,000327	0,000289	0,000514	0,002048	0,000879	0,000254
и	0,000444	0,001469	0,004033	0,001653	0,003179	0,002643	1,35Е-05	0,000425	0,002854	0,002005	0,000939	0,004318	0,006576	0,004455	0,006639	0,002105	0,002418
й	0,000116	0,000365	0,001115	0,00023	0,000595	0,000146	2,71Е-06	0,000127	0,000257	0,000487	0	0,000676	0,000346	0,000606	0,000968	0,000552	0,001082
к	0,009252	0,000246	0,000533	0,000143	0,00036	0,001006	2,71Е-06	0,000151	0,00017	0,003996	0	0,000319	0,000977	0,000246	0,001115	0,009755	0,000668
л	0,007905	0,000352	0,000776	0,000482	0,000473	0,005021	0,000408	0,000522	0,000287	0,009246	5,41Е-06	0,000985	0,001123	0,000395	0,001263	0,006942	0,000684
м	0,00382	0,000468	0,000752	0,000246	0,000463	0,003739	6,49Е-05	8,39Е-05	0,000257	0,003993	5,41Е-06	0,000687	0,000295	0,000414	0,002391	0,005386	0,001288
н	0,012604	0,0004	0,000557	0,000303	0,001093	0,00999	0,000241	5,95Е-05	0,000287	0,009547	0	0,000628	6,49Е-05	0,000173	0,00296	0,012035	0,000863
о	0,000219	0,005408	0,00972	0,005868	0,006493	0,002389	0,000141	0,002754	0,002134	0,001886	0,003944	0,00379	0,007951	0,00715	0,013053	0,00227	0,003866
п	0,002026	5,41Е-06	2,43Е-05	2,71Е-06	1,35Е-05	0,002137	3,79Е-05	0	8,12Е-06	0,00096	0	0,000135	0,001017	1,08Е-05	0,000138	0,01193	0,000122
р	0,007577	0,000222	0,000419	0,000265	0,000625	0,0063	0,000241	0,000303	6,49Е-05	0,005803	0	0,000414	0,000157	0,000362	0,001253	0,008062	0,000187
с	0,001537	0,000803	0,001501	0,00013	0,000668	0,002648	0,000939	7,3Е-05	0,000119	0,003198	0	0,004477	0,003568	0,001515	0,001918	0,003308	0,002316
т	0,007112	0,000406	0,002454	0,000111	0,000454	0,006552	0,000119	7,03Е-05	0,000151	0,005408	0	0,001234	0,000392	0,000368	0,001842	0,017846	0,000776
у	0,000225	0,000993	0,001569	0,001001	0,002237	0,0003	0	0,001555	0,000684	0,000795	0,000133	0,001501	0,002513	0,002045	0,001374	0,000468	0,001234
ф	0,000265	1,35Е-05	8,12Е-06	8,12Е-06	6,76Е-05	0,00017	2,71Е-06	0	2,71Е-06	0,000495	0	5,41Е-06	0,000111	1,08Е-05	2,71Е-06	0,000419	1,35Е-05
х	0,000904	0,000157	0,000457	7,3Е-05	0,000249	0,000528	0	3,25Е-05	9,2Е-05	0,000471	0	0,000292	0,00023	0,000289	0,000636	0,002751	0,000365
ц	0,000517	2,71Е-06	6,49Е-05	5,41Е-06	1,08Е-05	0,000836	0	0	1,35Е-05	0,000717	0	2,71Е-05	1,35Е-05	8,12Е-06	1,62Е-05	0,000187	1,62Е-05
ч	0,002088	2,71Е-06	2,71Е-06	0	5,41Е-06	0,002865	0,000344	0	0	0,001996	0	0,000649	2,43Е-05	1,35Е-05	0,00092	0,000119	1,08Е-05
ш	0,001296	0	4,6Е-05	1,08Е-05	1,08Е-05	0,001926	0,000406	2,71Е-06	2,71Е-06	0,001342	0	0,000533	0,000522	2,43Е-05	0,000206	0,000341	2,71Е-05
щ	0,000408	0	0	0	0	0,000763	0,000768	0	0	0,00106	0	0	0	2,71Е-06	7,03Е-05	5,41Е-06	0
ъ	0	0	0	0	0	0,000114	1,35Е-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ы	0,000106	0,000671	0,001455	0,000392	0,000441	0,001347	2,71Е-06	8,66Е-05	0,000322	0,0004	0,00152	0,000446	0,003744	0,001542	0,000728	0,000476	0,000782
ь	0,000162	0,000371	0,001144	0,000219	0,000628	0,000706	7,03Е-05	6,22Е-05	0,000538	0,000747	0	0,002037	0,000311	0,000817	0,002678	0,000852	0,001012
э	1,35Е-05	2,71Е-06	0,000119	5,41Е-06	0,000127	2,71Е-06	0	0	0	0,000755	0,000243	0,000246	6,76Е-05	0,00033	2,71Е-06	8,12Е-06	0
ю	2,71Е-05	0,000273	0,000168	6,49Е-05	0,000647	3,25Е-05	2,71Е-06	0,000122	6,49Е-05	0,000162	3,79Е-05	0,002359	0,000119	0,00016	0,000208	0,000238	0,000319
я	0,0001	0,000446	0,001499	0,000284	0,001282	0,000298	2,71Е-06	0,000203	0,000703	0,000703	8,66Е-05	0,000798	0,001469	0,000752	0,00184	0,000795	0,001131

р	с	т	у	ф	х	ц	ч	ш	щ	ъ	ы	ь	э	ю	я
0,003051	0,00607	0,006595	0,001136	0,000246	0,001399	0,000298	0,001504	0,000847	0,000344	0	0	0	0,000652	0,001374	0,00181
0,00132	0,00016	1,62E-05	0,001496	0	6,76E-05	2,71E-06	8,12E-06	5,41E-06	0,00016	8,66E-05	0,005465	2,71E-05	0,000151	8,12E-06	0,000522
0,000895	0,003108	0,000676	0,000793	2,98E-05	7,3E-05	4,33E-05	0,000143	0,000452	1,35E-05	8,12E-06	0,002849	0,000143	0,000346	1,89E-05	0,000317
0,001204	0,00059	7,3E-05	0,00072	1,62E-05	5,41E-06	0	7,57E-05	2,16E-05	0	0	0	0	8,12E-06	0	8,12E-06
0,001066	0,000441	0,000308	0,002194	5,41E-06	3,52E-05	0,000257	4,6E-05	6,22E-05	0	3,52E-05	0,000536	0,000381	0,000111	0,000189	0,00035
0,007959	0,006476	0,006641	0,00056	0,000284	0,000714	0,00033	0,001198	0,001031	0,000744	0	0	0	0,00033	0,000122	0,000384
0,000511	0,000303	0,000625	7,03E-05	8,12E-06	9,47E-05	2,71E-06	0,000114	5,41E-05	1,08E-05	0	0	0	5,68E-05	0	1,89E-05
8,12E-06	4,33E-05	2,43E-05	0,000295	2,71E-06	8,12E-06	2,71E-06	0,000187	2,71E-06	0	0	0	1,35E-05	1,62E-05	0	8,12E-06
0,000373	0,0002	8,12E-05	0,000381	1,35E-05	1,62E-05	8,12E-06	5,14E-05	2,16E-05	0	1,62E-05	0,00043	0,000146	4,06E-05	0	0,000233
0,001491	0,006246	0,005516	0,000757	0,000436	0,002286	0,000841	0,001447	0,001271	0,000116	0	0	0	0,000452	0,000295	0,001396
0,000446	0,00125	0,00086	0,000227	0,000103	6,76E-05	4,87E-05	0,000414	0,0001	5,41E-06	0	0	0	0,000124	0	0,000133
0,002378	0,001125	0,001396	0,002221	2,98E-05	0,00049	7,3E-05	0,00017	6,22E-05	2,71E-06	0	0	8,12E-06	0,000187	2,71E-06	0,000106
0,000254	0,002924	0,000574	0,001872	6,49E-05	0,000219	1,08E-05	0,00066	7,57E-05	5,41E-06	0	0,000985	0,005026	0,0005	0,003135	0,001867
0,000227	0,001098	0,000465	0,002381	2,43E-05	0,000106	2,71E-05	0,000368	8,12E-05	2,71E-06	0	0,001125	5,68E-05	0,000317	0	0,000571
0,000243	0,001461	0,000952	0,003712	8,12E-05	0,000119	0,000306	0,000284	3,25E-05	0,000206	1,35E-05	0,003593	0,001212	7,03E-05	0,000168	0,001436
0,007204	0,008941	0,009603	0,000871	0,000265	0,001004	0,000157	0,000362	0,001174	0,000436	0	0	0	0,000787	0,000184	0,001342
0,006779	6,49E-05	0,000111	0,000839	0	0	8,12E-06	2,43E-05	8,12E-06	0	0	0,000446	0,000127	2,16E-05	0	0,000341
0,000146	0,000514	0,000876	0,002989	7,3E-05	0,000195	2,98E-05	9,47E-05	0,00016	5,14E-05	0	0,001902	0,000766	0,000122	0,000108	0,000985
0,000365	0,001907	0,0011243	0,000795	4,6E-05	0,000311	7,57E-05	0,000365	0,000106	0	5,68E-05	0,000403	0,003281	0,000211	0,000127	0,000465
0,003268	0,002015	0,000452	0,001683	8,39E-05	8,93E-05	2,98E-05	0,000411	6,76E-05	8,12E-06	8,12E-06	0,00184	0,006449	0,000225	5,14E-05	0,000775
0,000714	0,00228	0,002443	0,000179	5,68E-05	0,000492	1,08E-05	0,00168	0,000522	0,000265	0	0	0	0,000208	0,001063	0,00013
0,000154	2,71E-06	6,76E-05	0,000143	4,33E-05	0	0	0	0	0	0	1,08E-05	0	1,89E-05	2,71E-06	0
0,000298	0,000306	0,00017	0,000295	4,6E-05	1,62E-05	8,12E-06	6,49E-05	5,68E-05	5,41E-06	0	0	2,71E-06	6,22E-05	2,71E-06	2,16E-05
5,41E-06	1,35E-05	1,08E-05	0,000103	0	5,41E-06	2,98E-05	2,71E-06	0	0	0	0,000135	0	8,12E-06	0	2,71E-06
1,35E-05	1,35E-05	0,004372	0,000625	0	0	0	5,41E-06	0,000233	0	0	0	0,000222	0	0	0
1,08E-05	5,41E-06	0,000206	0,000208	2,71E-06	0	5,41E-06	5,41E-06	0	0	0	0	0,000741	0	2,71E-06	2,71E-06
2,71E-06	0	0	0,000141	0	0	0	0	0	0	0	0	6,22E-05	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,12E-05
0,00039	0,001201	0,001285	0,000206	2,43E-05	0,000933	2,71E-05	0,000254	0,000552	8,12E-06	0	0	0	0,000111	2,71E-06	6,22E-05
0,000211	0,002067	0,000779	0,000268	0,000116	0,000135	0,000157	0,000828	0,000936	8,12E-06	0	0	0	0,000357	0,000482	0,000368
7,57E-05	3,25E-05	0,003525	0	1,62E-05	1,35E-05	0	0	7,57E-05	0	0	0	0	1,62E-05	0	5,41E-06
0,000119	0,000446	0,000847	3,79E-05	1,89E-05	2,71E-05	5,41E-06	0,000414	2,98E-05	0,000555	0	0	0	5,41E-05	8,12E-05	5,41E-05
0,000325	0,001447	0,002159	0,000276	5,14E-05	0,000298	7,57E-05	0,000376	0,000114	0,000365	0	0	0	0,000235	0,000141	0,000184
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Частота не пересічних біграм(з пробілами)

	а	б	в	г	д	е	ё	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п
а	4,51E-05	0,000972	0,002298	0,000713	0,002138	0,000992	4,06E-05	0,001074	0,00373	7,67E-05	0,000963	0,004202	0,009484	0,002246	0,002959	3,83E-05	0,000787
б	0,000922	2,48E-05	9,02E-06	0	1,58E-05	0,001748	0,00012	1,35E-05	2,26E-06	0,001238	0	0,000217	0,000737	2,93E-05	0,000347	0,002199	0
в	0,004657	6,77E-06	4,96E-05	4,51E-06	0,000219	0,004434	0,000142	0	0,000449	0,002848	0	0,00028	0,00053	0,000144	0,000929	0,00505	0,000153
г	0,000972	2,26E-06	9,02E-06	2,03E-05	0,00131	0,0003	0	0	6,77E-06	0,000507	0	0,000122	0,001416	0	0,000316	0,006396	0
д	0,004033	4,29E-05	0,001004	1,58E-05	3,83E-05	0,005102	0,000318	0,001013	9,02E-06	0,002463	0	0,00035	0,000564	4,96E-05	0,001766	0,003647	0,000108
е	0,000113	0,001062	0,001123	0,002747	0,002366	0,000586	0,000769	0,000686	0,001078	4,29E-05	0,002228	0,001067	0,004822	0,003142	0,005713	0,000138	0,000713
ё	0	9,02E-06	2,26E-05	5,19E-05	9,7E-05	0	0	4,51E-06	6,99E-05	0	9,02E-06	6,77E-05	0,000438	0,000383	0,00046	0	3,38E-05
ж	0,00108	2,93E-05	0	1,35E-05	0,000634	0,003241	7,44E-05	2,71E-05	0	0,001231	0	0,000101	6,77E-06	1,8E-05	0,001107	0,000449	0
з	0,000518	0,000113	0,000715	0,000277	0,000931	0,000212	1,13E-05	8,57E-05	1,8E-05	0,000438	0	0,00012	0,000212	0,00037	0,001536	0,000659	0
и	0,00012	0,000465	0,001642	0,000968	0,001479	0,001669	1,58E-05	0,000228	0,001827	0,000571	0,000778	0,002567	0,005144	0,003047	0,003624	0,00021	0,000147
й	1,35E-05	2,26E-06	0,000537	2,26E-06	0,000176	6,77E-06	0	0	1,13E-05	0	0	0,000101	0,000117	0,000131	0,000286	4,29E-05	2,71E-05
к	0,007819	2,26E-06	6,54E-05	2,26E-06	0	0,000758	0	6,77E-05	2,26E-06	0,002745	0	2,26E-05	0,000683	1,13E-05	0,000363	0,00774	0
л	0,006468	4,74E-05	5,41E-05	0,000149	7,22E-05	0,003879	0,000318	0,000444	2,71E-05	0,007165	0	0,000374	0,000496	6,09E-05	0,000268	0,005426	1,8E-05
м	0,003162	4,74E-05	4,51E-06	4,29E-05	0	0,003031	4,29E-05	0	0	0,002846	0	9,92E-05	0,000122	0,000101	0,001279	0,004028	0,000214
н	0,010517	0	1,8E-05	0,000183	0,000688	0,008356	0,000196	1,58E-05	1,8E-05	0,007621	0	0,000361	6,77E-06	0	0,001951	0,00965	2,26E-06
о	1,13E-05	0,003261	0,006058	0,004526	0,004323	0,00143	0,000129	0,002064	0,001189	0,000706	0,003356	0,00212	0,006031	0,005099	0,00086	0,000115	0,001134
п	0,001689	0	0	2,26E-06	0	0,001802	1,8E-05	0	0	0,00085	0	0,000104	0,00081	0	9,02E-05	0,009811	0,000117
р	0,006527	0,000149	0,000264	0,000219	0,000435	0,005178	0,000235	0,000266	3,38E-05	0,004617	0	0,000282	0,000111	0,000304	0,000911	0,006669	5,41E-05
с	0,00122	0,000462	0,001107	2,03E-05	0,000313	0,002109	0,000783	3,83E-05	9,02E-06	0,002454	0	0,0003457	0,002982	0,001067	0,001119	0,002447	0,001628
т	0,005762	0,000126	0,001664	6,77E-06	6,99E-05	0,00532	0,000111	0	2,26E-06	0,004242	0	0,000747	0,00016	3,83E-05	0,000931	0,014427	0,000194
у	8,8E-05	0,000661	0,000771	0,000728	0,001746	0,000126	0	0,001234	0,000399	0,000151	0,000122	0,000934	0,001933	0,001353	0,000404	1,13E-05	0,000537
ф	0,000239	4,51E-06	0	4,51E-06	0	0,000133	2,26E-06	0	0	0,000392	0	2,26E-06	8,8E-05	0	2,26E-06	0,000359	2,26E-06
х	0,000747	0	0,000189	2,26E-06	0	0,000361	0	0	2,26E-06	0,000221	0	4,51E-06	0,000108	5,64E-05	0,000253	0,002109	4,51E-06
ц	0,000467	0	5,19E-05	2,26E-06	0	0,000677	0	0	0,000573	0	1,8E-05	0	0	0	2,26E-06	0,00014	0
ч	0,001732	2,26E-06	0	0	0	0,002388	0,000318	0	0	0,001714	0	0,000568	1,13E-05	1,58E-05	0,000862	0,000124	2,26E-06
ш	0,001078	0	5,19E-05	0	0	0,001646	0,000316	0	0	0,001155	0	0,000456	0,000458	1,13E-05	0,000165	0,000277	1,35E-05
щ	0,000352	0	0	2,26E-06	0	0,000686	0,000613	0	0	0,000882	0	0	0	0	7,89E-05	2,26E-06	0
ъ	0	0	0	0	0	9,92E-05	9,02E-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ы	0	0,000309	0,000733	0,000235	8,12E-05	0,001024	0	4,74E-05	7,22E-05	9,02E-06	0,001333	0,000162	0,003081	0,000115	0,00012	0	0,000135
ь	0	2,93E-05	1,13E-05	5,19E-05	4,74E-05	0,000147	6,54E-05	0	0,000203	1,35E-05	0	0,000123	0	0,000246	0,000132	4,51E-06	0
э	6,77E-06	2,26E-06	0,000101	1,13E-05	0,000113	2,26E-06	0	0	0	0,000571	0,000201	0,000205	4,74E-05	0,000268	0	6,77E-06	0
ю	2,26E-06	0,000156	2,26E-06	1,8E-05	0,000406	0	0	6,54E-05	4,51E-06	0	1,8E-05	0,0001748	2,71E-05	4,29E-05	5,41E-05	0	9,02E-05
я	0	2,26E-05	0,000266	8,34E-05	0,000638	6,31E-05	0	0,000104	0,000248	0	9,96E-05	0,000135	0,000999	0,000311	0,000453	0	1,35E-05
	0,001919	0,007418	0,013214	0,00332	0,008063	0,004163	4,51E-06	0,001189	0,005424	0,009292	5,86E-05	0,009206	0,003947	0,006588	0,016184	0,0124	0,016367

п	р	с	т	у	ф	х	ц	ч	ш	щ	ъ	ы	ь	э	ю	я	
0,000787	0,002077	0,003408	0,004506	0,000422	9,7Е-05	0,000936	0,000257	0,000825	0,000589	0,000262	0	0	0	1,13Е-05	0,001121	0,001301	0,018085
0	0,001022	0,00012	4,51Е-06	0,001166	0	4,96Е-05	0	0	0	0,00012	9,02Е-05	0,004454	2,48Е-05	4,51Е-06	6,77Е-06	0,000429	0,000282
0,000153	0,000631	0,001998	0,000289	0,000566	2,26Е-06	3,83Е-05	1,13Е-05	2,26Е-05	0,000268	4,51Е-06	4,51Е-06	0,002309	0,000124	1,8Е-05	0	0,000217	0,005934
0	0,00097	0,000431	3,16Е-05	0,0006	0	0	0	5,64Е-05	1,8Е-05	0	0	0	0	4,51Е-06	0	0	0,000659
0,000108	0,000889	0,000286	0,000205	0,001906	0	1,35Е-05	0,000214	9,02Е-06	4,74Е-05	0	3,38Е-05	0,000431	0,000295	5,86Е-05	0,000117	0,000302	0,001166
0,000713	0,00636	0,003595	0,004745	5,41Е-05	0,000176	0,00032	0,000212	0,000546	0,000735	0,000661	0	0	0	0	0,000106	0,000169	0,014596
3,38Е-05	0,000271	9,47Е-05	0,000438	2,26Е-06	0	4,74Е-05	0	1,8Е-05	4,51Е-05	0	0	0	0	0	0	0	0,002104
0	0	4,51Е-06	0	0,000268	0	0	0	0,000108	4,51Е-06	0	0	0	1,8Е-05	0	0	0	0,000363
0	0,000248	2,26Е-06	2,03Е-05	0,000293	0	0	6,77Е-06	4,51Е-06	2,26Е-06	0	1,58Е-05	0,00035	0,000104	2,26Е-06	0	0,000176	0,001728
0,000147	0,000866	0,003561	0,003656	9,02Е-06	0,00023	0,001653	0,000631	0,00081	0,000898	6,54Е-05	0	0	0	2,26Е-06	0,000268	0,000871	0,019463
2,71Е-05	0,000171	0,000392	0,000354	0	1,58Е-05	4,51Е-06	1,8Е-05	0,000167	2,93Е-05	0	0	0	0	0	0	3,38Е-05	0,006793
0	0,001804	0,000401	0,000794	0,001653	0	0,000313	6,31Е-05	0	2,26Е-06	0	0	0	4,51Е-06	2,26Е-05	2,26Е-06	0	0,005641
1,8Е-05	0	0,001689	6,99Е-05	0,001202	4,51Е-06	6,31Е-05	0	8,57Е-05	4,51Е-06	0	0	0,000848	0,004222	0,000135	0,002641	0,001563	0,008047
0,000214	2,93Е-05	0,000158	4,51Е-06	0,001723	4,51Е-06	0	0	4,29Е-05	2,26Е-06	0	0	0,000929	8,12Е-05	0,00012	0	0,000329	0,0077
2,26Е-06	7,44Е-05	0,000796	0,000674	0,002794	6,77Е-05	2,03Е-05	0,000237	0,000169	2,26Е-05	0,000194	9,02Е-06	0,003076	0,000963	9,02Е-06	0,000151	0,001256	0,005047
0,001134	0,005677	0,005474	0,00671	0,000171	0,000192	0,000647	8,12Е-05	0,001797	0,000828	0,000325	0	0	0	7,22Е-05	0,000138	0,000803	0,02178
0,000117	0,005424	3,16Е-05	7,67Е-05	0,000706	0	0	4,51Е-06	2,26Е-05	2,26Е-06	0	0	0,000365	9,47Е-05	1,8Е-05	0	0,000264	0,000174
5,41Е-05	0,000115	0,000275	0,000706	0,002521	2,71Е-05	0,00012	2,93Е-05	8,8Е-05	9,25Е-05	3,16Е-05	0	0,001592	0,000636	4,51Е-05	7,44Е-05	0,000825	0,001132
0,001628	0,000205	0,00094	0,009152	0,000553	2,03Е-05	0,000196	5,41Е-05	0,000239	7,44Е-05	0	3,83Е-05	0,000334	0,002853	4,96Е-05	0,000115	0,000455	0,004129
0,000194	0,002447	0,001207	0,000124	0,001333	2,48Е-05	1,58Е-05	1,58Е-05	8,8Е-05	1,35Е-05	6,77Е-06	0,001545	0,005544	2,03Е-05	4,51Е-05	0,000586	0,005735	
0,000537	0,000512	0,001441	0,001743	2,03Е-05	1,35Е-05	0,000377	2,26Е-06	0,000909	0,000413	0,000226	0	0	0	4,06Е-05	0,000877	4,51Е-05	0,006191
2,26Е-06	0,000135	2,26Е-06	7,67Е-05	0,000135	2,93Е-05	0	0	4,51Е-06	0	0	1,35Е-05	0	0	1,8Е-05	2,26Е-06	0	0,000111
4,51Е-06	0,000147	3,16Е-05	2,26Е-06	0,000135	0	0	0	0	1,13Е-05	0	0	0	4,51Е-06	1,8Е-05	0	0	0,003067
0	2,26Е-06	0	0	0,000108	0	0	2,48Е-05	0	0	0	0	0,00012	0	0	0	0	0,000192
2,26Е-06	2,71Е-05	0	0,00346	0,000564	0	0	0	0	0,000185	0	0	0	0,000189	0	0	0	5,86Е-05
1,35Е-05	4,51Е-06	0	0,000171	0,00018	0	0	2,26Е-06	2,26Е-06	0	0	0	0	0,000661	0	2,26Е-06	0	7,44Е-05
0	2,26Е-06	0	0	0,000111	0	0	0	0	0	0	0	0	5,41Е-05	0	0	0	4,51Е-06
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,41Е-05	0
0,000135	0,000196	0,000514	0,000778	4,51Е-06	0	0,000751	4,51Е-06	0,000124	0,000485	9,02Е-06	0	0	0	0	0	3,16Е-05	0,004955
0	0	0,000882	0,00014	0	5,41Е-05	2,26Е-06	0,000138	0,000262	0,000695	4,51Е-06	0	0	0	0	0,000401	0,000174	0,009569
6,77Е-06	8,57Е-05	1,8Е-05	0,002954	0	1,35Е-05	9,02Е-06	0	0	6,09Е-05	0	0	0	0	4,51Е-06	0	2,26Е-06	2,03Е-05
9,02Е-05	2,26Е-05	0,000162	0,000562	0	0	9,02Е-06	4,51Е-06	0,00023	1,35Е-05	0,000433	0	0	0	0	6,77Е-05	2,26Е-06	0,002253
1,35Е-05	5,64Е-05	0,000399	0,001295	0	0	0,000151	4,06Е-05	7,67Е-05	2,03Е-05	0,000271	0	0	0	0	0,000104	8,34Е-05	0,009429
0,016367	0,003972	0,015345	0,0085	0,004432	0,000796	0,001879	0,000257	0,005068	0,001085	9,92Е-05	0	0	0	0,004195	8,34Е-05	0,001664	0

Частота не пересічних біграм(без пробілів)

	а	б	в	г	д	е	ё	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п
а	0,000368	0,002051	0,00432	0,001223	0,003373	0,00184	4,6Е-05	0,001504	0,000548	0,001242	0,001147	0,006382	0,011954	0,003749	0,005962	0,00171	0,003016
б	0,001066	3,25Е-05	2,16Е-05	2,71Е-06	2,98Е-05	0,002021	0,00017	1,35Е-05	2,71Е-06	0,001485	0	0,000211	0,000922	3,79Е-05	0,00043	0,002705	1,62Е-05
в	0,000529	0,000289	0,000395	0,000314	0,000617	0,005608	0,000157	4,87Е-05	0,000768	0,003568	2,71Е-06	0,00102	0,000809	0,000473	0,001604	0,006544	0,000931
г	0,001225	0,000103	5,41Е-05	4,33Е-05	0,001555	0,000344	0	2,71Е-06	4,6Е-05	0,000698	0	0,000165	0,001639	2,16Е-05	0,000519	0,007745	0,0001
д	0,004964	0,000103	0,001234	5,95Е-05	0,000103	0,006049	0,000354	0,001188	4,06Е-05	0,0003135	0	0,000555	0,000768	8,93Е-05	0,00231	0,004439	0,0003
е	0,000276	0,002226	0,002792	0,003595	0,003703	0,00105	0,00089	0,000906	0,002145	0,000925	0,002648	0,002032	0,006114	0,004512	0,008619	0,001455	0,002546
ё	8,12Е-06	0,0002	0,000225	0,00016	0,000254	0,000149	0	9,74Е-05	0,000179	0,0001	1,89Е-05	0,000138	0,000519	0,000563	0,000655	0,000246	0,000241
ж	0,00135	5,95Е-05	3,52Е-05	1,62Е-05	0,000766	0,003722	0,0001	2,71Е-05	2,71Е-06	0,001499	0	0,000154	1,08Е-05	3,25Е-05	0,001396	0,000565	2,16Е-05
з	0,007583	0,000168	0,001131	0,000376	0,001177	0,000295	1,35Е-05	0,000135	0,000214	0,000611	0	0,000327	0,000289	0,000514	0,002048	0,000879	0,000254
и	0,000444	0,001469	0,004033	0,001653	0,003179	0,002643	1,35Е-05	0,000425	0,002854	0,002005	0,000939	0,004318	0,006576	0,004455	0,006639	0,002105	0,002418
й	0,000116	0,000365	0,001115	0,00023	0,000595	0,000146	2,71Е-06	0,000127	0,000257	0,000487	0	0,000676	0,000346	0,000606	0,000968	0,000552	0,001082
к	0,009252	0,000246	0,000533	0,000143	0,00036	0,001006	2,71Е-06	0,000151	0,00017	0,0003996	0	0,000319	0,000977	0,000246	0,001115	0,009755	0,000668
л	0,007905	0,000352	0,000776	0,000482	0,000473	0,005021	0,000408	0,000522	0,000287	0,009246	5,41Е-06	0,000985	0,001123	0,000395	0,001263	0,006942	0,000684
м	0,00382	0,000468	0,000752	0,000246	0,000463	0,003739	6,49Е-05	8,39Е-05	0,000257	0,003993	5,41Е-06	0,000687	0,000295	0,000414	0,002391	0,005386	0,001288
н	0,012604	0,0004	0,000557	0,000303	0,001093	0,00999	0,000241	5,95Е-05	0,000287	0,009547	0	0,000628	6,49Е-05	0,000173	0,00296	0,012035	0,000863
о	0,000219	0,005408	0,00972	0,005868	0,006493	0,002389	0,000141	0,002754	0,002134	0,001886	0,003944	0,00379	0,007951	0,00715	0,013053	0,00227	0,003866
п	0,002026	5,41Е-06	2,43Е-05	2,71Е-06	1,35Е-05	0,002137	3,79Е-05	0	8,12Е-06	0,00096	0	0,000135	0,001017	1,08Е-05	0,000138	0,01193	0,000122
р	0,007577	0,000222	0,000419	0,000265	0,000625	0,0063	0,000241	0,000303	6,49Е-05	0,005803	0	0,000414	0,000157	0,000362	0,001253	0,008062	0,000187
с	0,001537	0,000803	0,001501	0,00013	0,000668	0,002648	0,000939	7,3Е-05	0,000119	0,003198	0	0,004477	0,003568	0,001515	0,001918	0,003308	0,002316
т	0,007112	0,000406	0,002454	0,000111	0,000454	0,006552	0,000119	7,03Е-05	0,000151	0,005408	0	0,001234	0,000392	0,000368	0,001842	0,017846	0,000776
у	0,000225	0,000993	0,001569	0,001001	0,002237	0,0003	0	0,001555	0,000684	0,000795	0,000133	0,001501	0,002513	0,002045	0,001374	0,000468	0,0001234
ф	0,000265	1,35Е-05	8,12Е-06	8,12Е-06	6,76Е-05	0,00017	2,71Е-06	0	2,71Е-06	0,000495	0	5,41Е-06	0,000111	1,08Е-05	2,71Е-06	0,000419	1,35Е-05
х	0,000904	0,000157	0,000457	7,3Е-05	0,000249	0,000528	0	3,25Е-05	9,2Е-05	0,000471	0	0,000292	0,00023	0,000289	0,000636	0,002751	0,000365
ц	0,000517	2,71Е-06	6,49Е-05	5,41Е-06	1,08Е-05	0,000836	0	1,35Е-05	0,000717	0	2,71Е-05	1,35Е-05	8,12Е-06	1,62Е-05	0,000187	1,62Е-05	
ч	0,002088	2,71Е-06	2,71Е-06	0	5,41Е-06	0,002865	0,000344	0	0	0,001996	0	0,000649	2,43Е-05	1,35Е-05	0,00092	0,000119	1,08Е-05
ш	0,001296	0	4,6Е-05	1,08Е-05	1,08Е-05	0,001926	0,000406	2,71Е-06	2,71Е-06	0,001342	0	0,000533	0,000522	2,43Е-05	0,000206	0,000341	2,71Е-05
щ	0,000408	0	0	0	0	0,000763	0,000768	0	0	0,00106	0	0	0	2,71Е-06	7,03Е-05	5,41Е-06	0
ъ	0	0	0	0	0	0,000114	1,35Е-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ы	0,000106	0,000671	0,001455	0,000392	0,000441	0,001347	2,71Е-06	8,66Е-05	0,000322	0,0004	0,00152	0,000446	0,003744	0,001542	0,000728	0,000476	0,000782
ь	0,000162	0,000371	0,001144	0,000319	0,000628	0,000706	7,03Е-05	6,22Е-05	0,000538	0,000747	0	0,002037	0,000311	0,000817	0,002678	0,000852	0,001012
э	1,35Е-05	2,71Е-06	0,000119	5,41Е-06	0,000127	2,71Е-06	0	0	0	0	0,000755	0,000243	0,000246	6,76Е-05	0,00033	2,71Е-06	8,12Е-06
ю	2,71Е-05	0,000273	0,000168	6,49Е-05	0,000647	3,25Е-05	2,71Е-06	0,000122	6,49Е-05	0,000162	3,79Е-05	0,002359	0,000119	0,00016	0,000208	0,000238	0,000319
я	0,0001	0,000446	0,000149	0,000284	0,001282	0,000298	2,71Е-06	0,000203	0,000703	0,000703	8,66Е-05	0,000798	0,001469	0,000752	0,00184	0,000795	0,001131

р	с	т	у	ф	х	ц	ч	ш	щ	ъ	ы	ь	э	ю	я
0,003051	0,00607	0,006595	0,001136	0,000246	0,001399	0,000298	0,001504	0,000847	0,000344	0	0	0	0,000652	0,001374	0,00181
0,00132	0,00016	1,62E-05	0,001496	0	6,76E-05	2,71E-06	8,12E-06	5,41E-06	0,00016	8,66E-05	0,005465	2,71E-05	0,000151	8,12E-06	0,000522
0,000895	0,003108	0,000676	0,000793	2,98E-05	7,3E-05	4,33E-05	0,000143	0,000452	1,35E-05	8,12E-06	0,002849	0,000143	0,000346	1,89E-05	0,000317
0,001204	0,00059	7,3E-05	0,00072	1,62E-05	5,41E-06	0	7,57E-05	2,16E-05	0	0	0	0	8,12E-06	0	8,12E-06
0,001066	0,000441	0,000308	0,002194	5,41E-06	3,52E-05	0,000257	4,6E-05	6,22E-05	0	3,52E-05	0,000536	0,000381	0,000111	0,000189	0,00039
0,007959	0,006476	0,006641	0,00056	0,000284	0,000714	0,00033	0,001198	0,001031	0,000744	0	0	0	0,00033	0,000122	0,000384
0,000511	0,000303	0,000625	7,03E-05	8,12E-06	9,47E-05	2,71E-06	0,000114	5,41E-05	1,08E-05	0	0	0	5,68E-05	0	1,89E-05
8,12E-06	4,33E-05	2,43E-05	0,000295	2,71E-06	8,12E-06	2,71E-06	0,000187	2,71E-06	0	0	0	1,35E-05	1,62E-05	0	8,12E-06
0,000373	0,0002	8,12E-05	0,000381	1,35E-05	1,62E-05	8,12E-06	5,14E-05	2,16E-05	0	1,62E-05	0,00043	0,000146	4,06E-05	0	0,000233
0,001491	0,006246	0,005516	0,000757	0,000436	0,002286	0,000841	0,001447	0,001271	0,000116	0	0	0	0,000452	0,000295	0,001396
0,000446	0,00125	0,00086	0,000227	0,000103	6,76E-05	4,87E-05	0,000414	0,0001	5,41E-06	0	0	0	0,000124	0	0,000133
0,002378	0,001125	0,001396	0,002221	2,98E-05	0,00049	7,3E-05	0,00017	6,22E-05	2,71E-06	0	0	8,12E-06	0,000187	2,71E-06	0,000106
0,000254	0,002924	0,000574	0,001872	6,49E-05	0,000219	1,08E-05	0,00066	7,57E-05	5,41E-06	0	0,000985	0,005026	0,0005	0,003135	0,001867
0,000227	0,001098	0,000465	0,002381	2,43E-05	0,000106	2,71E-05	0,000368	8,12E-05	2,71E-06	0	0,001125	5,68E-05	0,000317	0	0,000571
0,000243	0,001461	0,000952	0,003712	8,12E-05	0,000119	0,000306	0,000284	3,25E-05	0,000206	1,35E-05	0,003593	0,001212	7,03E-05	0,000168	0,001436
0,007204	0,008941	0,009603	0,000871	0,000265	0,001004	0,000157	0,0003062	0,001174	0,000436	0	0	0	0,000787	0,000184	0,001342
0,006779	6,49E-05	0,000111	0,000839	0	0	8,12E-06	2,43E-05	8,12E-06	0	0	0,000446	0,000127	2,16E-05	0	0,000341
0,000146	0,000514	0,000876	0,002989	7,3E-05	0,000195	2,98E-05	9,47E-05	0,00016	5,14E-05	0	0,001902	0,000766	0,000122	0,000108	0,000985
0,000365	0,001907	0,011243	0,000795	4,6E-05	0,000311	7,57E-05	0,000365	0,000106	0	5,68E-05	0,000403	0,003281	0,000211	0,000127	0,00465
0,003268	0,002015	0,000452	0,001683	8,39E-05	8,93E-05	2,98E-05	0,000411	6,76E-05	8,12E-06	8,12E-06	0,00184	0,006449	0,000225	5,14E-05	0,000779
0,000714	0,00228	0,002443	0,000179	5,68E-05	0,000492	1,08E-05	0,00168	0,000522	0,000265	0	0	0	0,000208	0,001063	0,00013
0,000154	2,71E-06	6,76E-05	0,000143	4,33E-05	0	0	0	0	0	0	1,08E-05	0	1,89E-05	2,71E-06	0
0,000298	0,000306	0,00017	0,000295	4,6E-05	1,62E-05	8,12E-06	6,49E-05	5,68E-05	5,41E-06	0	0	2,71E-06	6,22E-05	2,71E-06	2,16E-05
5,41E-06	1,35E-05	1,08E-05	0,000103	0	5,41E-06	2,98E-05	2,71E-06	0	0	0	0,000135	0	8,12E-06	0	2,71E-06
1,35E-05	1,35E-05	0,004372	0,000625	0	0	0	5,41E-06	0,000233	0	0	0	0,000222	0	0	0
1,08E-05	5,41E-06	0,000206	0,000208	2,71E-06	0	5,41E-06	5,41E-06	0	0	0	0	0,000741	0	2,71E-06	2,71E-06
2,71E-06	0	0	0,000141	0	0	0	0	0	0	0	0	6,22E-05	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,12E-05
0,00039	0,001201	0,001285	0,000206	2,43E-05	0,000933	2,71E-05	0,000254	0,000552	8,12E-06	0	0	0	0,000111	2,71E-06	6,22E-05
0,000211	0,002067	0,000779	0,000268	0,000116	0,000135	0,000157	0,000828	0,000936	8,12E-06	0	0	0	0,000357	0,000482	0,000368
7,57E-05	3,25E-05	0,003525	0	1,62E-05	1,35E-05	0	0	7,57E-05	0	0	0	0	1,62E-05	0	5,41E-06
0,000119	0,000446	0,000847	3,79E-05	1,89E-05	2,71E-05	5,41E-06	0,000414	2,98E-05	0,000555	0	0	0	5,41E-05	8,12E-05	5,41E-05
0,000325	0,001447	0,002159	0,000276	5,14E-05	0,000298	7,57E-05	0,000376	0,000114	0,000365	0	0	0	0,000235	0,000141	0,000184

Для кожного випадку обрахували ентропію. Для обрахування H_1 використали наступну формулу:

$$H_1 = - \sum_{i=1}^n p(i) \log_2 p(i)$$

Для обрахування H_2 використали наступну формулу:

$$H_2 = - \frac{1}{2} \sum_{i,j} p(i,j) \log_2 p(i,j)$$

Функція для обчислення ентропії

```
# рахуємо ентропію
def entropy(freq):
    temp = []
    for i in freq.values():
        temp.append(i * log(i, 2))

    H = -sum(temp)
    return H
```

Таблиця з отриманими значеннями ентропії:

	З пробілами	Без пробілів
H_1	4.40054	4.49969
H_2 (з перетином)	3.99677	4.18234
H_2 (без перетину)	3.99643	4.18228

Також обрахували надлишковість в російській мові для кожного випадку. Для цього використали наступну формулу:

Функція для обчислення надлишковості

Таблиця з оцінками надлишковості російської мови:

За допомогою програми CoolPinkProgram оцінили значення для $H(10)$, $H(20)$, $H(30)$

Лабораторная работа №1

Произвольная часть текста:
o_выбора_

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: 52

Поле ввода символов:

Неравенство для энтропии:
2,54760192430024 < H < 3,11739421460284

Двоичная таблица угаданных символов:

01000000000000000000000000000000	▲
10000000000000000000000000000000	
10000000000000000000000000000000	
10000000000000000000000000000000	
01000000000000000000000000000000	▼

Вероятности:

```
q[1] = 0,4509803
q[2] = 0,0588235
q[3] = 0,0588235
q[4] = 0,0196078
q[5] = 0
q[6] = 0,0784313
q[7] = 0
q[8] = 0
q[9] = 0
q[10] = 0,019607
q[11] = 0,019607
q[12] = 0
q[13] = 0,019607
q[14] = 0
q[15] = 0
q[16] = 0,039215
q[17] = 0,019607
q[18] = 0,019607
q[19] = 0
q[20] = 0
q[21] = 0,058823
q[22] = 0
q[23] = 0
q[24] = 0,019607
q[25] = 0,019607
q[26] = 0,039215
q[27] = 0,019607
q[28] = 0,019607
q[29] = 0,019607
q[30] = 0
q[31] = 0
q[32] = 0
```

Строка состояния:

Лабораторная работа №1

Произвольная часть текста:
ими_причинами_мы_ст

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: 52

Поле ввода символов:

Продолжить

Другой

Неравенство для энтропии:
1,95381569257531 < H < 2,70456602197588

Двоичная таблица угаданных символов:

1000000000000000000000000000000000 ^
0000100000000000000000000000000000
0100000000000000000000000000000000
000000000000000000000000000000010000
0000000000000000000000000000000000 ~~~~~ v

Вероятности:
q [1] = 0,5490196
q [2] = 0,0784313
q [3] = 0,0392156
q [4] = 0,0196078
q [5] = 0,0588235
q [6] = 0
q [7] = 0,0196078
q [8] = 0
q [9] = 0
q [10] = 0
q [11] = 0
q [12] = 0
q [13] = 0,039215
q [14] = 0,019607
q [15] = 0,019607
q [16] = 0,019607
q [17] = 0
q [18] = 0
q [19] = 0,019607
q [20] = 0,019607
q [21] = 0
q [22] = 0,019607
q [23] = 0
q [24] = 0,019607
q [25] = 0,019607
q [26] = 0
q [27] = 0
q [28] = 0,019607
q [29] = 0
q [30] = 0,019607
q [31] = 0
q [32] = 0

Лабораторная работа №1

Произвольная часть текста:
и_слово_вымолвить_как_он_стан

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: 52

Поле ввода символов:

Продолжить

Другой

Неравенство для энтропии:
1,93301839021778 < H < 2,60855431703

Двоичная таблица угаданных символов:

00001000000000000000000000000000	▲
00000000000000000000000000000000	
10000000000000000000000000000000	
10000000000000000000000000000000	
01000000000000000000000000000000	
00000000000000000000000000000000	▼

Вероятности:

q [1] = 0,5490196
q [2] = 0,1372549
q [3] = 0,0196078
q [4] = 0
q [5] = 0,0196078
q [6] = 0
q [7] = 0
q [8] = 0
q [9] = 0,0196078
q [10] = 0
q [11] = 0,019607
q [12] = 0,019607
q [13] = 0,019607
q [14] = 0,019607
q [15] = 0
q [16] = 0
q [17] = 0
q [18] = 0
q [19] = 0,019607
q [20] = 0,019607
q [21] = 0,019607
q [22] = 0
q [23] = 0,019607
q [24] = 0,039215
q [25] = 0,019607
q [26] = 0,019607
q [27] = 0
q [28] = 0
q [29] = 0
q [30] = 0,019607
q [31] = 0
q [32] = 0

Строка состояния:

Зведемо данні в таблицю

	ентропія
H(10)	$2.547 < H^{(10)} < 3.117$
H(20)	$1.953 < H^{(10)} < 2.704$
H(30)	$1.933 < H^{(10)} < 2.608$

	R
H(10)	$0.376 < R < 0.490$
H(20)	$0.459 < R < 0.609$
H(30)	$0.478 < R < 0.613$

Висновки: За результатами цього практикуму ми отримали теоретичні знання про такі поняття як ентропія та надлишковість джерела відкритого тексту (мови), також отримали досвід з обрахування цих значень. Експериментальним шляхом прослідкували залежність ентропії від кількості букв за допомогою програми CoolPinkProgram.exe