

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

Криптографія
Комп’ютерний практикум №1

Підготували:
студенти групи ФБ-02
Сапегін Валентин
Єсаф'єв Євгеній

Київ – 2022

Експериментальна оцінка ентропії на символ джерела відкритого тексту

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:

- 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.
- За допомогою програми CoolPinkProgram оцінити значення $H(10)$, $H(20)$, $H(30)$
- Використовуючи отримані значення ентропії, оцінити надлишковість російської мови в різних моделях джерела

Хід роботи:

Як початковий текст ми використали книгу «Метро 2033» Дмитрія Глуховського (відповідний файл metro-2033.txt).

Почнемо із значень частот букв:

а	0.066737	р	0.038358
б	0.013488	с	0.044388
в	0.035097	т	0.055847
г	0.01489	у	0.023686
д	0.023977	ф	0.001007
е	0.07048	х	0.008355
ж	0.00821	ц	0.002923
з	0.014453	ч	0.012648
и	0.056373	ш	0.007412
й	0.009317	щ	0.00357
к	0.027153	ы	0.016253
л	0.040457	ь	0.016875
м	0.02767	э	0.002527
н	0.056532	ю	0.004431
о	0.094734	я	0.017178
п	0.023439		0.161534

Частоти букв без пробілів:

а	0.079594	р	0.045748
б	0.016087	с	0.05294
в	0.041859	т	0.066606
г	0.017759	у	0.028249
д	0.028597	ф	0.001201
е	0.084058	х	0.009964
ж	0.009792	ц	0.003486
з	0.017238	ч	0.015085
и	0.067234	ш	0.00884
й	0.011112	щ	0.004258
к	0.032384	ы	0.019384
л	0.048251	ь	0.020126
м	0.033	э	0.003014
н	0.067423	ю	0.005284
о	0.112985	я	0.020488
п	0.027954		

Частоти біграм, що перетинаються:

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п	р
а	4.1E-06	0.00064	0.00529	0.00109	0.00441	3.9E-05	0.00101	0.00518	9.9E-05	0	0.00604	0.00406	0.00273	0.00998	2.2E-05	0.00171	0.00721
б	0.00064	0	1.9E-05	2.1E-06	3.3E-05	0.00111	7.2E-06	0.00013	0.00054	0	0	2.7E-05	3.6E-05	1E-06	0.00354	0	0.00014
в	0.00322	3E-05	9.8E-05	5.1E-06	0.00073	0.00151	1E-06	0.00079	0.00239	0	0.0002	2.2E-05	1.8E-05	1.8E-05	0.00644	0	0.00051
г	0.00082	8.2E-06	4.4E-05	0	1E-05	0.00367	1.9E-05	0.00037	0.00056	1E-06	1E-06	0.00018	6.6E-05	2.8E-05	0.00437	0	0.00019
д	0.00181	1.3E-05	0.00045	0.0011	5.2E-05	0.00263	0.00066	0.00095	0.00152	0.0002	0	4.8E-05	0	0.0004	0.00445	0	0.0002
е	0.00098	0.00179	0.0046	0.00023	0.00407	0.00096	0.00345	0.00036	0.00212	0	0.00067	0.00398	0.00366	0.00949	0.00203	0.0024	0.00598
ж	0.00109	1.4E-05	3.1E-06	0	1.7E-05	0.00072	2.7E-05	5.3E-05	0.00039	0	7.2E-06	0.00033	3.1E-06	1.4E-05	0.00184	0	0.00033
з	0.00316	3.1E-06	0.00036	0	2.6E-05	0.00137	0	1.3E-05	0.00202	1E-06	6.3E-05	6.5E-05	2.1E-06	0.00014	0.0012	0	3.5E-05
и	0.00015	0.00084	0.00263	0.00075	0.00234	0.00015	0.00159	0.00037	0.00084	0	0.00282	0.00678	0.00294	0.00806	0.00079	0.00062	0.00396
й	0.00063	0	0	0	0	0.0018	0	0	0.00121	0	0	0	0	0	0.0039	0	0
к	0.00397	5.8E-05	0.00019	0.0001	0.00017	0.00137	9.7E-05	0.00016	0.00219	4.7E-05	2.7E-05	0.00051	0.00011	0.00029	0.00205	9.4E-05	0.00033
л	0.00811	0.00077	0.00065	0.00151	0.00054	0.00561	1.7E-05	0.00025	0.00468	5.1E-06	0.00051	0.00013	0.00024	0	0.00554	0.00084	8.2E-05
м	0.00327	4E-05	0.00011	0	9.2E-05	0.00626	1.5E-05	0.00028	0.00277	4.2E-05	0	6.2E-06	5.8E-05	0	0.00491	0	0.00036
н	0.00476	0.00025	0.00116	0.00039	0.00171	0.00587	0.00079	0.00156	0.00298	0.00029	0.0004	0.00032	0.00114	0.00332	0.00606	0.00013	0.00114
о	4.5E-05	0.00232	0.00565	0.00745	0.00362	0.00022	3.1E-05	0.00062	0.00029	2.1E-06	0.00768	0.00594	0.00324	0.00098	0.00027	0.0095	0.00736
п	0.00081	0	0.00035	0	7.4E-05	0.00096	0	0	0.00023	1E-06	3.1E-06	3.6E-05	9.1E-05	0	0.00141	4.2E-05	7.4E-05
р	0.00461	0.00131	0.00071	0.00096	0.0011	0.00618	6.3E-05	0.00031	0.0011	1E-06	0.00182	0	0.00012	1.7E-05	0.00493	0.00619	4.2E-05
с	0.00336	0.00015	0.00284	6.2E-06	0.00021	0.00389	6.4E-05	1E-06	0.00262	0.00034	0.00012	0.00193	0.00011	0.00033	0.00607	2.2E-05	0.00017
т	0.00453	5.1E-06	0.00037	1E-05	0.0002	0.00476	1E-06	8.2E-06	0.00321	0.00023	0.0007	7.5E-05	2.1E-06	0.0008	0.00728	7.3E-05	0.00284
у	9.8E-05	0.00084	0.00059	0.00047	0.00136	0.00015	0.0002	0.00045	3.1E-06	0	0.00156	0.00122	0.00241	0.00296	4.2E-05	0.001	0.00252
ф	7.5E-05	0	0	0	1E-06	1.5E-05	0	0	3.6E-05	5.1E-06	0	0	3.1E-06	3.6E-05	0.00011	0	5.6E-05
х	0.00092	3.5E-05	9.1E-05	0	4E-05	0.00055	0	0	0.00205	1.6E-05	0	1E-06	6.2E-06	0.00013	0.00064	0	0.00026
ц	0.00023	1E-06	4.1E-05	0	0.00013	0.00042	0	1E-05	0.00051	6.2E-05	4.6E-05	0	1.2E-05	0.00081	5.4E-05	3.1E-06	3.2E-05
ч	0.00103	1E-06	3.5E-05	3.5E-05	3.9E-05	0.00094	3.4E-05	1E-05	0.00113	0.00022	7.2E-06	0.00017	3.8E-05	0.00013	0.0015	1.3E-05	8.6E-05
ш	0.00078	1.6E-05	0.00096	2.1E-06	6.5E-05	0.001	0	4.1E-06	0.00051	8.5E-05	1.9E-05	1E-05	1E-06	9.2E-06	0.00067	3.1E-06	0.00016
щ	0.00036	0.00021	4.1E-06	0	0	0.00095	0	0	0.00027	0	0	1.2E-05	7.2E-06	5E-05	0.00028	0	3.1E-05
ы	0	0.00336	0.00219	0	0.00069	0	0	0.00046	0	0	0	0.00083	0.001	0.00379	0	0.0004	0.00152
ь	0	0.00019	0.00018	0	0.00051	0	2.9E-05	0.00014	0	0	0	0.00418	4.2E-05	0.00103	0	3E-05	0.00061
э	4.1E-06	2.1E-06	7.2E-06	0	4.1E-06	0	0	0	6.2E-06	0	0	0	1E-06	5.1E-06	8.3E-05	0	2.1E-06
ю	0.00091	1.8E-05	3.1E-06	0	1.1E-05	7.2E-05	0	6.2E-06	0.00034	0	0	0.00098	0	8.4E-05	0.00015	0	0.00014
я	0.00223	0.00042	0.00026	1E-06	0.00045	0.00016	0	0.00022	0.00119	0	0	0.00151	0.00038	0.00124	0.00071	0.00031	0.0012
_	0.01413	0.00015	0.00519	0.00079	0.00126	0.01714	0.00011	0.00173	0.01856	0.00777	0.00444	0.00712	0.00918	0.00356	0.02339	6.6E-05	0.00081

	с	т	у	ф	х	ц	ч	ш	щ	ы	ь	э	ю	я	_
а	0.00132	0.00696	3E-05	0.00012	0.00068	0.00043	0.00184	0.00111	0.00052	0	0	0	0	0	0.00422
б	7.3E-05	3.3E-05	0.00052	0	1E-06	0	0	0	0	0.00015	7E-05	2.1E-06	0.00017	7.2E-06	0.00624
в	0.00158	0.00194	0.00061	0	0.00017	5.6E-05	4.1E-06	2.8E-05	0	0.00094	1.1E-05	1.1E-05	1E-06	0.00027	0.01348
г	5.4E-05	1.6E-05	0.00103	3.1E-06	4.1E-06	0	6.2E-06	0	0	0.00015	1.1E-05	2.1E-06	2.2E-05	0.00012	0.00314
д	0.00025	0.00013	0.00162	0	0	1E-06	0	0	0	0.00016	1.7E-05	2.1E-06	0.00053	0.00072	0.00607
е	0.00336	0.00651	0.00011	0.00011	3.3E-05	0.00057	0.00373	0.00198	0.00172	0.00139	0.0003	0	3.1E-06	7.2E-05	0.00381
ж	3.8E-05	2.1E-06	0.00131	0	0	0	0	0	0	5.8E-05	1E-06	0	4.8E-05	0.0002	0.00171
з	4.2E-05	1.7E-05	0.00026	0	0	0	0	0	0	5.3E-05	0.0002	1E-06	1.5E-05	0.00021	0.0052
и	0.00134	0.00333	1.8E-05	0.00023	0.00014	0.00103	0.00149	0.00185	0.00098	1.2E-05	4.7E-05	0	0	1.8E-05	0.01021
й	0	0	5.9E-05	0	0	0	0	0	0	0.00165	0	1.6E-05	0	4.6E-05	0
к	0.00313	0.0008	0.00074	1E-06	5.1E-06	7.8E-05	0.00033	0.00033	0	0.00017	0.00121	3.3E-05	9.6E-05	0.00019	0.00826
л	0.00277	0.00018	0.00174	3.7E-05	0.00014	0	2.6E-05	0.00048	0	0.00227	0	3.8E-05	1.9E-05	0.00092	0.00235
м	0.00097	5.2E-05	0.00084	1E-06	4E-05	0	1E-06	3.6E-05	0	0.00127	0.00021	1E-05	4.8E-05	0.00048	0.0055
н	0.00115	0.00122	0.00079	2.1E-06	0.00028	7.2E-06	0.00087	0.00043	7.9E-05	0.00011	0.00144	1.2E-05	3.6E-05	0.00063	0.01721
о	0.00244	0.01372	1E-06	0.0004	0.00234	0.00021	0.00011	0.0002	2.1E-06	0	9.2E-06	0	0	0	0.01126
п	0.00195	9.4E-05	0.0006	0	0	0	1E-06	3.6E-05	0	0.00012	8.2E-06	9.2E-06	5.1E-06	4.4E-05	0.01649
р	0.00026	0.0033	0.00065	3.6E-05	0.00023	0	7.2E-06	9.2E-06	6.2E-06	0.00019	0	9.2E-06	2.4E-05	8.8E-05	0.00406
с	0.00065	0.00114	0.0013	4.1E-06	7.1E-05	0	0	0	0	0.00074	0.00124	4.9E-05	8.6E-05	0.00077	0.01611
т	0.01058	9.7E-05	0.00195	4.1E-06	2.5E-05	0	0.00312	6.6E-05	0	0.0007	6.5E-05	0.00225	0.00048	0.00149	0.00992
у	0.00065	0.00185	2.1E-06	2.7E-05	0.00015	7.7E-05	0.0006	0.00019	0.00018	2.1E-06	0	0	0	0	0.00411
ф	2.3E-05	9.3E-05	1.8E-05	7.2E-06	0	0	0	0	0	0	4.1E-06	1.4E-05	0	0	0.00051
х	0.00019	2.2E-05	0.00054	0	0	0	0	0	0	0.00122	0	3.8E-05	6.2E-06	0.00019	0.00141
ц	2.3E-05	2.2E-05	2.1E-05	0	0	0	0	7.2E-06	0	7.2E-06	0.00012	0	4.7E-05	1.4E-05	0.00029
ч	0.00019	0.00025	0.0008	4.1E-06	3.1E-06	0	0	0	0	0.0002	9.4E-05	1E-06	0.00012	7E-05	0.00551
ш	6.7E-05	1.7E-05	0.00061	0	1.9E-05	0	7.7E-05	0	0	0.00057	0.00076	5.1E-06	2.1E-06	1.3E-05	0.00098
щ	0	3.2E-05	0.00036	0	0	0	0	0	0	5.1E-06	6.2E-06	0	0.00058	0.00033	9.1E-05
ы	0.00029	0.00156	0	1E-05	0	0.00014	0	0	0	0	0	0	0	0	2.1E-06
ь	0.0033	0.00581	0	3.1E-06	0	0	0.00019	0.0006	2.8E-05	0	0	0	0	1E-06	0
э	5.1E-06	3.1E-06	2.5E-05	0	0	0	2.1E-06	3.1E-06	0	0	0	4.1E-06	0	0	0.00237
ю	0.00019	5.1E-05	0.00099	0	0	5.1E-06	0	1E-06	0	0	0.00029	0	2.2E-05	0.00011	6.3E-05
я	0.00472	0.00071	7.1E-05	1E-06	1E-06	0	0	0	0	1.2E-05	0.00034	0	0	9.7E-05	0.00094
	0.00277	0.00589	0.00609	8.2E-06	0.00402	0.00031	0.00024	5.3E-05	6.4E-05	0.00412	0.01042	1.8E-05	0.00207	0.01008	0

Частоти біграм без пробілів, що перетинаються:

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п	р
а	0,00051	0,000768	0,006438	0,001316	0,005308	0,000352	0,001206	0,006216	0,000716	0,000308	0,007326	0,005327	0,003501	0,011995	0,000532	0,00204	0,008656
б	0,001369	7,34E-06	0,000166	4,16E-05	8,56E-05	0,002508	1,1E-05	0,00021	0,001464	0,000372	0,000193	0,00028	0,000411	0,000209	0,005525	9,79E-06	0,000191
в	0,005173	4,04E-05	0,000394	8,93E-05	0,000985	0,003415	9,79E-06	0,001062	0,004899	0,000678	0,000623	0,000694	0,000941	0,000377	0,01015	4,89E-06	0,000683
г	0,001284	9,79E-06	0,000303	9,79E-06	8,44E-05	0,00476	2,57E-05	0,000509	0,001105	0,000294	9,54E-05	0,000433	0,00028	9,66E-05	0,005662	0	0,000241
д	0,002745	1,96E-05	0,000768	0,001344	0,000102	0,003941	0,000794	0,001216	0,002718	0,000634	0,000176	0,000295	0,000439	0,000665	0,006358	1,22E-05	0,00028
е	0,001551	0,002137	0,005659	0,000289	0,004887	0,001457	0,004114	0,000467	0,003067	0,000131	0,000916	0,005272	0,004568	0,011383	0,003036	0,002861	0,007142
ж	0,00143	1,71E-05	4,77E-05	7,34E-06	2,57E-05	0,00109	3,3E-05	7,09E-05	0,000646	0,000157	0,000139	0,000454	0,000135	4,28E-05	0,002532	0	0,000407
з	0,004252	3,67E-06	0,000594	5,02E-05	0,000121	0,002429	1,22E-06	0,000131	0,003133	0,000246	0,000218	0,00029	0,000358	0,000329	0,002428	2,45E-06	8,32E-05
и	0,001246	0,001018	0,003403	0,000942	0,002914	0,00131	0,0019	0,000515	0,002177	0,000706	0,003807	0,008604	0,00421	0,009908	0,002442	0,000745	0,0048
й	0,000752	0	0	0	0	0,002152	0	0	0,001446	0	0	0	0	0	0,004653	0	0
к	0,005705	7,46E-05	0,000729	0,00017	0,000279	0,002492	0,000122	0,000372	0,00359	0,000602	0,00028	0,000997	0,000658	0,000494	0,00371	0,000117	0,000438
л	0,009893	0,000919	0,000891	0,001813	0,000686	0,006998	2,69E-05	0,000311	0,005896	0,000204	0,00067	0,000251	0,000407	2,32E-05	0,00707	0,001003	0,000105
м	0,004514	5,14E-05	0,000378	2,32E-05	0,000153	0,008331	2,08E-05	0,000406	0,003961	0,000437	0,000198	0,000215	0,000445	0,000144	0,006751	0	0,00047
н	0,007579	0,000317	0,001945	0,000568	0,002265	0,008922	0,000961	0,002113	0,00596	0,000992	0,001051	0,001227	0,00252	0,004454	0,010055	0,00016	0,001478
о	0,001154	0,0028	0,007135	0,008949	0,0044	0,001793	4,16E-05	0,000868	0,00204	0,000498	0,00949	0,007875	0,004656	0,011978	0,002264	0,011336	0,008849
п	0,002834	9,79E-06	0,001139	0,000127	0,000231	0,003268	1,71E-05	0,000246	0,002718	0,000894	0,000491	0,000719	0,001364	0,000525	0,004498	5,63E-05	0,000182
р	0,005908	0,00156	0,00103	0,001178	0,001335	0,007966	7,71E-05	0,000421	0,001863	0,000356	0,002287	0,000208	0,000443	0,000124	0,006521	0,00738	7,46E-05
с	0,005812	0,000185	0,004088	0,000119	0,000385	0,006729	8,93E-05	0,000224	0,005305	0,001404	0,000652	0,003045	0,001292	0,000842	0,010026	3,06E-05	0,000275
т	0,0064	1,22E-05	0,000961	3,91E-05	0,000305	0,006867	2,32E-05	0,000147	0,005113	0,000782	0,001235	0,000473	0,000572	0,001167	0,010778	9,05E-05	0,00342
у	0,000491	0,00101	0,000787	0,000588	0,001657	0,000755	0,000234	0,000577	0,000634	0,000197	0,001976	0,001671	0,003233	0,003684	0,00074	0,001189	0,003032
ф	0,000148	0	2,2E-05	4,89E-06	2,45E-06	9,3E-05	1,22E-06	6,12E-06	9,66E-05	7,46E-05	3,67E-06	2,32E-05	2,81E-05	4,65E-05	0,000197	0	6,73E-05
х	0,001206	4,4E-05	0,000147	6,12E-06	5,63E-05	0,000932	2,45E-06	1,83E-05	0,00262	0,0001	5,38E-05	0,000109	0,000106	0,000187	0,000991	0	0,000324
ц	0,000302	1,22E-06	7,95E-05	4,89E-06	0,000161	0,000527	0	1,59E-05	0,000645	0,000116	6,97E-05	9,79E-06	3,67E-05	0,000971	0,000109	3,67E-06	3,91E-05
ч	0,001632	2,45E-06	0,000186	6,12E-05	7,83E-05	0,001801	4,16E-05	6,36E-05	0,002001	0,000557	0,000245	0,000634	0,000438	0,000258	0,002894	1,71E-05	0,000122
ш	0,001034	1,96E-05	0,001199	3,67E-06	7,95E-05	0,001326	0	2,57E-05	0,000752	0,000218	5,38E-05	4,89E-05	6,61E-05	5,87E-05	0,000947	3,67E-06	0,000198
щ	0,000445	0,000245	7,34E-06	1,22E-06	1,22E-06	0,00115	0	0	0,000331	1,35E-05	2,45E-06	1,47E-05	1,1E-05	6,12E-05	0,000355	0	3,79E-05
ы	0	0,004009	0,002618	0	0,000828	0	0	0,000549	1,22E-06	0	0	0,000992	0,001189	0,004515	0	0,000481	0,001814
ь	0	0,000225	0,00022	0	0,000604	0	3,43E-05	0,000164	0	0	0	0,004987	5,02E-05	0,001232	0	3,55E-05	0,000724
э	0,000347	6,12E-05	0,000183	7,34E-06	2,57E-05	0,000274	3,67E-06	3,55E-05	0,000283	6,73E-05	9,91E-05	8,56E-05	0,000116	5,75E-05	0,000538	1,22E-06	1,35E-05
ю	0,001102	2,2E-05	9,79E-06	0	1,35E-05	9,17E-05	0	1,1E-05	0,000407	8,56E-06	1,22E-06	0,001168	2,45E-06	0,0001	0,000181	0	0,000165
я	0,002767	0,000499	0,000328	6,12E-06	0,000538	0,000289	1,22E-06	0,000267	0,001534	6,73E-05	3,06E-05	0,001848	0,000524	0,001487	0,00104	0,000374	

	с	т	у	ф	х	ц	ч	ш	щ	ы	ь	э	ю	я
а	0,001656	0,008512	0,000311	0,000142	0,000935	0,00052	0,002205	0,001324	0,00063	0,000111	0,000281	0	6,97E-05	0,000373
б	0,000188	0,000259	0,000816	0	0,000206	9,79E-06	3,67E-06	4,89E-06	2,45E-06	0,000354	0,000508	3,67E-06	0,00027	0,000407
в	0,002056	0,002948	0,001322	0	0,000594	9,91E-05	3,18E-05	3,67E-05	2,45E-06	0,00159	0,001207	1,47E-05	0,000185	0,001551
г	0,000149	0,000133	0,001302	4,89E-06	0,0001	3,67E-06	1,1E-05	3,67E-06	1,22E-06	0,000261	0,000157	2,45E-06	9,05E-05	0,000347
д	0,00047	0,000394	0,002192	1,22E-06	0,000187	2,08E-05	1,22E-05	1,22E-06	0	0,000367	0,00045	2,45E-06	0,000706	0,001284
е	0,004076	0,007931	0,00025	0,000132	0,000119	0,000686	0,004454	0,002366	0,002049	0,001777	0,000838	0	3,79E-05	0,000367
ж	8,32E-05	0,000128	0,001637	0	5,02E-05	2,45E-06	2,45E-06	1,22E-06	0	0,000128	7,95E-05	0	9,79E-05	0,000347
з	0,000152	0,00019	0,000511	0	0,000144	9,79E-06	1,47E-05	0	0	0,000237	0,00058	3,67E-06	9,66E-05	0,000629
и	0,001711	0,004486	0,000577	0,000279	0,000513	0,001255	0,001799	0,002212	0,001171	0,000457	0,000942	3,67E-06	0,000169	0,0009
й	0	0	7,09E-05	0	0	0	0	0	0	0,001963	0	1,96E-05	0	5,5E-05
к	0,004	0,001291	0,001309	2,45E-06	0,000283	0,000113	0,00041	0,000391	6,12E-06	0,000422	0,002116	3,91E-05	0,000285	0,000886
л	0,003341	0,00033	0,002141	4,4E-05	0,000281	1,22E-06	3,43E-05	0,000577	0	0,002768	0,000175	4,53E-05	8,07E-05	0,001264
м	0,001278	0,000333	0,001308	1,22E-06	0,000212	9,79E-06	1,22E-05	4,89E-05	7,34E-06	0,001666	0,000602	1,22E-05	0,000135	0,000877
н	0,001839	0,002228	0,001947	3,67E-06	0,000728	4,53E-05	0,001059	0,000515	0,000105	0,000642	0,003268	1,59E-05	0,000237	0,002216
о	0,003122	0,016796	0,000421	0,000473	0,00312	0,000294	0,000149	0,000243	4,89E-06	0,000351	0,000854	0	0,000183	0,000845
п	0,002662	0,000735	0,001413	1,22E-06	0,00052	4,4E-05	2,45E-05	5,14E-05	0	0,00065	0,001163	1,47E-05	0,000223	0,001134
р	0,000366	0,004106	0,000938	4,28E-05	0,000428	9,79E-06	1,47E-05	1,35E-05	2,94E-05	0,00035	0,000254	1,1E-05	0,000114	0,00034
с	0,000992	0,002012	0,002207	4,89E-06	0,000623	3,79E-05	3,18E-05	7,34E-06	0	0,001343	0,00267	6,24E-05	0,0004	0,002048
т	0,012954	0,000593	0,002729	6,12E-06	0,000289	1,83E-05	0,003733	8,44E-05	1,22E-06	0,001081	0,000787	0,002681	0,000741	0,002521
у	0,000875	0,002391	0,000171	3,18E-05	0,000283	0,000108	0,000729	0,00023	0,00021	0,000172	0,000292	0	3,91E-05	0,000262
ф	4,53E-05	0,000126	3,3E-05	8,56E-06	4,04E-05	1,22E-06	1,22E-05	0	1,22E-06	8,56E-06	2,45E-05	1,83E-05	2,57E-05	4,16E-05
х	0,000263	6,48E-05	0,000717	0	3,67E-05	3,67E-06	2,45E-06	1,22E-06	0	0,001492	9,66E-05	4,65E-05	1,71E-05	0,000319
ц	3,18E-05	3,79E-05	2,69E-05	0	1,1E-05	0	0	8,56E-06	0	1,47E-05	0,000164	0	6,48E-05	3,43E-05
ч	0,000287	0,000576	0,001292	4,89E-06	0,000122	6,12E-06	7,34E-06	2,45E-06	0	0,000349	0,000652	1,22E-06	0,000223	0,000531
ш	9,42E-05	5,26E-05	0,000754	0	6,97E-05	6,12E-06	9,3E-05	0	0	0,000695	0,000952	7,34E-06	1,71E-05	6,73E-05
щ	0	3,91E-05	0,000428	0	2,45E-06	0	0	0	1,22E-06	7,34E-06	1,22E-05	0	0,000691	0,0004
ы	0,000345	0,001862	0	1,22E-05	0	0,000169	0	0	0	1,22E-06	0	0	0	0
ь	0,00394	0,006928	0	3,67E-06	0	0	0,000231	0,000712	3,3E-05	0	0	0	0	1,22E-06
э	7,95E-05	0,000137	0,000108	0	4,16E-05	7,34E-06	4,89E-06	3,67E-06	2,45E-06	8,44E-05	0,000182	6,12E-06	3,06E-05	0,000125
ю	0,00024	6,48E-05	0,001184	0	1,22E-06	6,12E-06	0	1,22E-06	0	1,22E-06	0,000346	0	2,57E-05	0,00013
я	0,005645	0,00092	0,000136	1,22E-06	2,57E-05	0	1,22E-06	0	0	3,91E-05	0,000472	0	2,94E-05	0,000179

Частоти біграм, що не перетинаються:

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п	р
а	6.15E-06	0.00062	0.00534	0.00115	0.00435	4.3E-05	0.00097	0.00523	8.6E-05	0	0.00597	0.00408	0.00278	0.01009	1.2E-05	0.00172	0.00721
б	0.00065	0	1E-05	2.1E-06	3.3E-05	0.00113	1.2E-05	0.00015	0.00055	0	0	1.8E-05	4.1E-05	2.1E-06	0.00349	0	0.00013
в	0.00331	2.5E-05	8.6E-05	0	0.0007	0.00154	0	0.0008	0.00237	0	0.00022	1.6E-05	2.1E-05	1.8E-05	0.00637	0	0.0005
г	0.00082	8.2E-06	5.1E-05	0	8.2E-06	0.00355	1.8E-05	0.00038	0.00056	0	0	0.00019	7.8E-05	3.3E-05	0.00425	0	0.00019
д	0.00173	1.6E-05	0.00046	0.00111	5.9E-05	0.0027	0.00065	0.00095	0.00163	0.00018	0	3.3E-05	0	0.00043	0.00451	0	0.00018
е	0.001	0.00174	0.00462	0.00025	0.00408	0.00096	0.00347	0.00037	0.00021	0	0.00064	0.00391	0.00366	0.00945	0.00203	0.0024	0.00616
ж	0.00103	1.2E-05	2.1E-06	0	2.1E-05	0.00073	3.1E-05	5.3E-05	0.00036	0	8.2E-06	0.00033	4.1E-06	4.1E-06	0.00189	0	0.00032
з	0.00305	2.1E-06	0.00035	0	2.7E-05	0.00132	0	2.1E-05	0.00202	0	7.2E-05	5.7E-05	4.1E-06	0.00014	0.00122	0	4.3E-05
и	0.00015	0.00084	0.00258	0.0008	0.00233	0.00015	0.00159	0.0004	0.0009	0	0.00287	0.00681	0.00302	0.00807	0.00077	0.00064	0.00399
й	0.00064	0	0	0	0	0.0019	0	0	0.00116	0	0	0	0	0	0.00391	0	0
к	0.00391	5.5E-05	0.00018	0.0001	0.00015	0.00144	0.0001	0.00018	0.00213	3.5E-05	3.3E-05	0.00054	0.00013	0.00029	0.00201	6.8E-05	0.00032
л	0.00826	0.0008	0.00062	0.00146	0.0005	0.00556	2.3E-05	0.00023	0.00458	6.2E-06	0.00049	0.00013	0.00026	0	0.00559	0.00081	9.8E-05
м	0.00322	3.3E-05	0.00011	0	9.4E-05	0.00617	1.6E-05	0.00029	0.00279	5.3E-05	0	8.2E-06	5.9E-05	0	0.00482	0	0.00037
н	0.00469	0.00028	0.00116	0.00039	0.00167	0.00583	0.00078	0.00157	0.00301	0.0003	0.00039	0.0003	0.00113	0.00331	0.00585	0.00012	0.00111
о	3.7E-05	0.00228	0.00562	0.00766	0.00361	0.00021	3.3E-05	0.00065	0.0003	0	0.00778	0.00604	0.00323	0.00987	0.00026	0.00951	0.00738
п	0.0008	0	0.00031	0	7.8E-05	0.00098	0	0	0.00023	2.1E-06	2.1E-06	3.9E-05	9.4E-05	0	0.0014	4.5E-05	8.2E-05
р	0.0047	0.0013	0.00071	0.00094	0.00107	0.00606	5.7E-05	0.00032	0.0011	0	0.00181	0	0.00012	1.8E-05	0.00493	0.0062	3.9E-05
с	0.00332	0.00016	0.00285	2.1E-06	0.00021	0.00382	7.4E-05	2.1E-06	0.00263	0.00031	0.00011	0.00192	0.00011	0.00031	0.00604	2.1E-05	0.00015
т	0.00445	8.2E-06	0.00035	1.2E-05	0.00019	0.00469	0	1.2E-05	0.0032	0.00025	0.00066	8.6E-05	2.1E-06	0.0008	0.00735	8E-05	0.00278
у	9.2E-05	0.00086	0.00062	0.0005	0.00134	0.00016	0.00021	0.00041	4.1E-06	0	0.00156	0.00124	0.00249	0.00296	4.3E-05	0.00103	0.00252
ф	8.8E-05	0	0	0	0	1.6E-05	0	0	3.9E-05	6.2E-06	0	0	6.2E-06	3.7E-05	0.00012	0	5.5E-05
х	0.00088	4.5E-05	8.4E-05	0	4.3E-05	0.00056	0	0	0.00209	1.2E-05	0	2.1E-06	4.1E-06	0.00013	0.00066	0	0.00026
ц	0.00023	2.1E-06	3.7E-05	0	0.00016	0.00042	0	2.1E-05	0.00051	5.9E-05	5.7E-05	0	1.5E-05	0.00084	5.3E-05	2.1E-06	3.9E-05
ч	0.00107	2.1E-06	3.7E-05	3.1E-05	3.7E-05	0.0009	2.7E-05	6.2E-06	0.00114	0.00021	1.2E-05	0.0002	3.5E-05	0.00013	0.0015	1.8E-05	8.4E-05
ш	0.00079	1.8E-05	0.00099	2.1E-06	5.3E-05	0.00103	0	4.1E-06	0.00051	8.8E-05	1.2E-05	1E-05	0	1E-05	0.00066	2.1E-06	0.00018
щ	0.00036	0.00021	4.1E-06	0	0	0.001	0	0	0.00025	0	0	1.2E-05	1.2E-05	3.9E-05	0.00026	0	3.3E-05
ы	0	0.00335	0.00221	0	0.00069	0	0	0.00046	0	0	0.00087	0.00097	0.00375	0	0.0004	0.00152	
ь	0	0.00021	0.00018	0	0.00052	0	2.9E-05	0.00012	0	0	0.00406	3.7E-05	0.00102	0	3.9E-05	0.00063	
э	0	4.1E-06	8.2E-06	0	6.2E-06	0	0	0	6.2E-06	0	0	0	2.1E-06	0	9.8E-05	0	4.1E-06
ю	0.00095	2.1E-05	2.1E-06	0	1.2E-05	8.2E-05	0	4.1E-06	0.00035	0	0	0.0009	0	8E-05	0.00017	0	0.00014
я	0.00225	0.00041	0.00028	2.1E-06	0.00046	0.00016	0	0.00019	0.00123	0	0	0.00157	0.0004	0.00124	0.00067	0.00032	0.00119
_	0.0141	0.00016	0.00515	0.00076	0.00135	0.01719	0.00012	0.00172	0.01834	0.00769	0.00451	0.00706	0.00914	0.00373	0.02326	7.4E-05	0.00077

	с	т	у	ф	х	ц	ч	ш	щ	ы	ь	э	ю	я	—
а	0.00133	0.0071	2.7E-05	0.0001	0.00071	0.00041	0.00181	0.0011	0.00054	0	0	0	0	0	0.00409
б	6.8E-05	1.6E-05	0.00053	0	2.1E-06	0	0	0	0	0.00012	6.4E-05	2.1E-06	0.00018	6.2E-06	0.00632
в	0.00163	0.00191	0.00063	0	0.0002	6.4E-05	4.1E-06	2.9E-05	0	0.00091	1.2E-05	1.2E-05	2.1E-06	0.00027	0.01353
г	5.1E-05	1.4E-05	0.00101	0	6.2E-06	0	4.1E-06	0	0	0.00013	1.4E-05	2.1E-06	1.4E-05	0.00014	0.0031
д	0.00026	0.00013	0.00157	0	0	0	0	0	0	0.00017	1.6E-05	4.1E-06	0.00054	0.00069	0.0061
е	0.00336	0.00663	0.00011	0.0001	4.1E-05	0.00054	0.00366	0.00195	0.0017	0.00138	0.00029	0	4.1E-06	8.6E-05	0.00393
ж	4.1E-05	0	0.00132	0	0	0	0	0	0	6.4E-05	0	0	4.3E-05	0.00022	0.00173
з	4.3E-05	1.6E-05	0.00024	0	0	0	0	0	0	6.4E-05	0.00019	0	1.2E-05	0.00022	0.00523
и	0.00135	0.00331	1.6E-05	0.00026	0.00017	0.00098	0.00153	0.00182	0.00096	1.4E-05	4.9E-05	0	0	2.1E-05	0.01021
й	0	0	6.4E-05	0	0	0	0	0	0	0.0017	0	1.4E-05	0	3.9E-05	0
к	0.00315	0.0008	0.00073	0	4.1E-06	7.6E-05	0.00029	0.00033	0	0.00018	0.00129	3.7E-05	9.8E-05	0.00017	0.00828
л	0.00273	0.00018	0.00173	4.3E-05	0.00013	0	2.9E-05	0.00054	0	0.00231	0	3.9E-05	2.1E-05	0.00093	0.00238
м	0.00093	4.5E-05	0.00089	0	4.9E-05	0	2.1E-06	3.3E-05	0	0.00127	0.00019	1E-05	5.5E-05	0.00047	0.00553
н	0.00115	0.00122	0.00082	2.1E-06	0.00032	8.2E-06	0.00089	0.00041	8E-05	0.00013	0.00147	4.1E-06	3.1E-05	0.00059	0.01722
о	0.00247	0.01378	2.1E-06	0.00042	0.00227	0.00021	0.0001	0.00018	2.1E-06	0	6.2E-06	0	0	0	0.01133
п	0.00188	9.4E-05	0.00063	0	0	0	0	2.9E-05	0	0.00013	0	8.2E-06	4.1E-06	5.3E-05	0.01649
р	0.00026	0.0033	0.00065	3.5E-05	0.00025	0	6.2E-06	1.2E-05	2.1E-06	0.00018	0	8.2E-06	1.8E-05	9.6E-05	0.00404
с	0.00065	0.00112	0.00129	6.2E-06	8E-05	0	0	0	0	0.00074	0.00125	5.9E-05	9.2E-05	0.00076	0.01629
т	0.01053	7E-05	0.00196	2.1E-06	2.7E-05	0	0.00311	5.9E-05	0	0.00073	5.7E-05	0.00226	0.00045	0.00151	0.00999
у	0.00062	0.00178	4.1E-06	2.1E-05	0.00014	7.2E-05	0.0006	0.0002	0.0002	2.1E-06	0	0	0	0	0.00411
ф	2.1E-05	8.4E-05	1.8E-05	8.2E-06	0	0	0	0	0	0	4.1E-06	8.2E-06	0	0	0.00048
х	0.00017	8.2E-06	0.00053	0	0	0	0	0	0	0.00125	0	3.1E-05	6.2E-06	0.00018	0.00139
ц	2.9E-05	2.3E-05	1.2E-05	0	0	0	0	8.2E-06	0	2.1E-06	0.00014	0	5.7E-05	1E-05	0.00029
ч	0.00018	0.00026	0.00081	4.1E-06	0	0	0	0	0	0.00019	0.00011	0	0.00012	5.7E-05	0.00555
ш	4.7E-05	1.2E-05	0.00061	0	1.4E-05	0	7.6E-05	0	0	0.00056	0.00079	6.2E-06	2.1E-06	1.4E-05	0.00098
щ	0	3.7E-05	0.00037	0	0	0	0	0	0	4.1E-06	2.1E-06	0	0.00054	0.00033	9.6E-05
ы	0.00029	0.00144	0	6.2E-06	0	0.00016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ь	0.00333	0.00583	0	2.1E-06	0	0	0.00021	0.0006	3.1E-05	0	0	0	0	0	0
э	4.1E-06	4.1E-06	2.5E-05	0	0	0	4.1E-06	2.1E-06	0	0	0	8.2E-06	0	0	0.00233
ю	0.00021	4.7E-05	0.00099	0	0	6.2E-06	0	0	0	0	0.00028	0	3.3E-05	0.00012	8.6E-05
я	0.00478	0.00075	7.6E-05	2.1E-06	0	0	0	0	0	1.2E-05	0.00034	0	0	0.0001	0.00093
—	0.00287	0.006	0.00593	6.2E-06	0.00396	0.00031	0.00023	4.1E-05	5.9E-05	0.00415	0.01034	3.1E-05	0.00206	0.00992	0

Частоти біграм без пробілів, що не перетинаються:

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п	р
а	0,00049	0,00074	0,00643	0,0013	0,00528	0,00034	0,00118	0,00628	0,00072	0,00031	0,00739	0,00543	0,00361	0,01195	0,00051	0,00193	0,00858
б	0,00132	9,8E-06	0,00015	3,2E-05	9,5E-05	0,00259	7,3E-06	0,00024	0,00144	0,00036	0,0002	0,00026	0,00042	0,0002	0,00565	1,2E-05	0,00021
в	0,00516	4,6E-05	0,00043	8,6E-05	0,00096	0,00328	1,2E-05	0,00107	0,00502	0,00066	0,0006	0,00068	0,00095	0,0004	0,01014	4,9E-06	0,00067
г	0,00128	2E-05	0,00028	9,8E-06	7,3E-05	0,00495	2,2E-05	0,00055	0,00109	0,00031	0,0001	0,00041	0,00029	8,6E-05	0,00566	0	0,00024
д	0,00282	2,2E-05	0,00074	0,00134	9,3E-05	0,004	0,00074	0,00121	0,00262	0,00066	0,00018	0,0003	0,00041	0,00066	0,0063	1,7E-05	0,00027
е	0,0016	0,0021	0,00555	0,00027	0,00501	0,0015	0,0043	0,00047	0,00302	0,00014	0,00095	0,00532	0,00459	0,01152	0,00301	0,00285	0,007
ж	0,00143	1,2E-05	5,6E-05	1,2E-05	2,9E-05	0,00109	2,7E-05	7,3E-05	0,00071	0,00016	0,00014	0,00043	0,00013	2,7E-05	0,00248	0	0,00041
з	0,00424	7,3E-06	0,00058	5,4E-05	0,00014	0,00248	0	0,00013	0,00305	0,00024	0,00021	0,00027	0,00031	0,00031	0,00236	0	8,3E-05
и	0,00119	0,00103	0,00344	0,00092	0,00295	0,0013	0,00191	0,00051	0,00235	0,00072	0,00384	0,0087	0,00416	0,00992	0,0026	0,00071	0,00489
й	0,00073	0	0	0	0	0,00212	0	0	0,00151	0	0	0	0	0	0,00471	0	0
к	0,0056	6,4E-05	0,00071	0,00016	0,00024	0,00254	0,00011	0,00037	0,00351	0,00062	0,00026	0,00099	0,00061	0,00052	0,00369	0,0001	0,00042
л	0,00989	0,0009	0,00088	0,00177	0,00066	0,00691	2E-05	0,0003	0,00592	0,00019	0,00066	0,00027	0,00042	1,7E-05	0,00709	0,00102	0,00011
м	0,00442	3,7E-05	0,00035	2,4E-05	0,00016	0,00827	9,8E-06	0,00042	0,00387	0,00045	0,00018	0,00021	0,00043	0,00015	0,00671	0	0,0005
н	0,0076	0,00032	0,00197	0,0006	0,00229	0,00869	0,00094	0,00212	0,00603	0,00096	0,00108	0,00121	0,00254	0,00446	0,00986	0,00018	0,00146
о	0,00121	0,00279	0,00726	0,00884	0,00445	0,00177	4,2E-05	0,00088	0,00197	0,00053	0,00953	0,0079	0,00477	0,01188	0,00224	0,01136	0,00873
п	0,00287	1,5E-05	0,00119	0,00013	0,00021	0,0032	1,7E-05	0,00025	0,00257	0,00095	0,0005	0,00074	0,00135	0,00053	0,00461	5,1E-05	0,00021
р	0,00593	0,00153	0,00103	0,00119	0,00136	0,00804	7,6E-05	0,00043	0,0019	0,00033	0,00232	0,00021	0,00044	0,00011	0,00657	0,00749	7,6E-05
с	0,00582	0,00016	0,00419	0,00011	0,00036	0,00682	9,1E-05	0,00023	0,0053	0,0014	0,00069	0,003	0,00134	0,00086	0,00999	2,7E-05	0,00026
т	0,00644	1,5E-05	0,001	3,9E-05	0,00033	0,00675	2,2E-05	0,00011	0,00499	0,00071	0,00124	0,00049	0,00061	0,00119	0,01085	9,5E-05	0,00343
у	0,00047	0,00097	0,00075	0,00056	0,00165	0,00069	0,00023	0,00059	0,00067	0,0002	0,00188	0,00166	0,00329	0,00368	0,00074	0,00117	0,00302
ф	0,00015	0	1,5E-05	4,9E-06	4,9E-06	8,1E-05	2,4E-06	9,8E-06	9,3E-05	9,8E-05	0	2E-05	2E-05	6,1E-05	0,00021	0	7,8E-05
х	0,00122	5,1E-05	0,00016	4,9E-06	6,4E-05	0,00093	0	1,7E-05	0,00269	9,5E-05	4,6E-05	0,00012	0,0001	0,0002	0,00095	0	0,00028
ц	0,00036	2,4E-06	9,8E-05	4,9E-06	0,00016	0,0005	0	1,2E-05	0,00065	0,00011	6,9E-05	9,8E-06	4,2E-05	0,00092	0,00011	2,4E-06	3,2E-05
ч	0,00162	2,4E-06	0,00019	6,1E-05	5,9E-05	0,0018	4,9E-05	6,1E-05	0,00198	0,00056	0,00025	0,00067	0,00044	0,00024	0,00284	1,2E-05	0,00012
ш	0,001	2,9E-05	0,00118	2,4E-06	7,8E-05	0,00133	0	1,7E-05	0,00071	0,00022	5,1E-05	5,1E-05	5,4E-05	7,1E-05	0,00097	0	0,00022
щ	0,00047	0,00026	2,4E-06	2,4E-06	0,00114	0	0	0	0,00035	1,7E-05	4,9E-06	1,2E-05	9,8E-06	8,1E-05	0,00033	0	3,9E-05
ы	0	0,00401	0,00257	0	0,00085	0	0	0,00056	0	0	0	0,00093	0,00119	0,00459	0	0,00049	0,00186
ь	0	0,00021	0,00022	0	0,00055	0	1,5E-05	0,00016	0	0	0	0,00495	5,6E-05	0,00126	0	2,9E-05	0,0007
э	0,00036	5,4E-05	0,00016	2,4E-06	3,2E-05	0,00025	0	3,2E-05	0,00028	5,6E-05	8,1E-05	9,1E-05	0,0001	4,9E-05	0,00057	2,4E-06	2E-05
ю	0,00117	3,4E-05	1,2E-05	0	1,7E-05	7,3E-05	0	9,8E-06	0,00042	1,2E-05	2,4E-06	0,00119	2,4E-06	0,0001	0,0002	0	0,00018
я	0,00279	0,00049	0,00033	7,3E-06	0,00054	0,00027	0	0,00026	0,00146	8,1E-05	3,2E-05	0,00182	0,00053	0,00146	0,00107	0,00034	0,00145

	с	т	у	ф	х	ц	ч	ш	щ	ы	ь	э	ю	я
а	0,001637	0,00858	0,000316	0,000127	0,000957	0,000509	0,002212	0,001297	0,000617	0,0001	0,000289	0	8,56E-05	0,000313
б	0,000208	0,000245	0,000773	0	0,000215	9,79E-06	7,34E-06	0	4,89E-06	0,000387	0,000524	2,45E-06	0,00025	0,000423
в	0,002082	0,002906	0,001353	0	0,000577	8,81E-05	2,2E-05	4,16E-05	0	0,001627	0,001165	1,47E-05	0,000196	0,001541
г	0,000154	0,000125	0,001353	4,89E-06	0,000108	2,45E-06	1,47E-05	2,45E-06	0	0,000242	0,000149	2,45E-06	8,81E-05	0,000352
д	0,000428	0,000357	0,0023	0	0,000171	2,2E-05	9,79E-06	2,45E-06	0	0,000379	0,000426	2,45E-06	0,000719	0,001309
е	0,004046	0,007905	0,000267	0,00012	0,000122	0,000709	0,004514	0,0024	0,002065	0,001783	0,000842	0	4,4E-05	0,000369
ж	8,56E-05	0,000135	0,00161	0	5,14E-05	2,45E-06	2,45E-06	0	0	0,000144	8,07E-05	0	8,32E-05	0,000343
з	0,000154	0,000191	0,000538	0	0,000149	9,79E-06	1,96E-05	0	0	0,000225	0,000614	2,45E-06	0,000117	0,000629
и	0,001705	0,004499	0,000587	0,000274	0,000499	0,001257	0,001783	0,002209	0,001123	0,00045	0,000942	7,34E-06	0,000179	0,000905
й	0	0	8,07E-05	0	0	0	0	0	0	0,001857	0	1,71E-05	0	5,87E-05
к	0,004086	0,001306	0,001272	2,45E-06	0,000296	0,000122	0,00046	0,000396	7,34E-06	0,000438	0,002106	2,94E-05	0,000264	0,000944
л	0,003317	0,000325	0,002192	3,91E-05	0,000296	0	3,67E-05	0,00056	0	0,002833	0,000154	5,38E-05	8,07E-05	0,001262
м	0,001297	0,000313	0,001314	2,45E-06	0,000208	1,22E-05	1,71E-05	5,87E-05	2,45E-06	0,0017	0,000597	9,79E-06	0,00013	0,000937
н	0,001788	0,002344	0,001923	4,89E-06	0,000744	3,91E-05	0,00105	0,000558	0,000115	0,000665	0,003281	1,47E-05	0,000232	0,002268
о	0,003193	0,016682	0,000421	0,000477	0,003068	0,000281	0,000164	0,000259	4,89E-06	0,000338	0,000859	0	0,000193	0,000856
п	0,002627	0,000722	0,001426	2,45E-06	0,000536	5,63E-05	2,69E-05	4,89E-05	0	0,000653	0,001189	1,71E-05	0,000191	0,001118
р	0,000347	0,004037	0,001001	4,65E-05	0,000404	7,34E-06	1,71E-05	1,47E-05	4,16E-05	0,000355	0,00023	1,22E-05	0,000122	0,000306
с	0,001062	0,002087	0,002216	2,45E-06	0,00059	4,4E-05	3,43E-05	7,34E-06	0	0,001287	0,00262	5,38E-05	0,000387	0,001984
т	0,01292	0,000646	0,002738	9,79E-06	0,000284	9,79E-06	0,003694	8,07E-05	0	0,001089	0,000754	0,002772	0,000712	0,002547
у	0,000842	0,002334	0,000176	4,4E-05	0,000289	0,00011	0,000727	0,000215	0,00021	0,000183	0,000276	0	4,16E-05	0,000272
ф	4,89E-05	0,000113	3,18E-05	9,79E-06	3,67E-05	0	1,47E-05	0	2,45E-06	7,34E-06	1,47E-05	2,2E-05	3,43E-05	3,67E-05
х	0,000272	7,09E-05	0,000749	0	2,94E-05	4,89E-06	2,45E-06	2,45E-06	0	0,001443	9,3E-05	5,63E-05	1,71E-05	0,000355
ц	2,94E-05	3,18E-05	1,96E-05	0	9,79E-06	0	0	1,47E-05	0	1,47E-05	0,000159	0	5,63E-05	3,43E-05
ч	0,000274	0,000572	0,001306	4,89E-06	0,00013	7,34E-06	4,89E-06	2,45E-06	0	0,000345	0,000621	2,45E-06	0,000225	0,00055
ш	9,3E-05	4,65E-05	0,000771	0	6,36E-05	7,34E-06	0,000103	0	0	0,00068	0,000908	9,79E-06	9,79E-06	5,63E-05
щ	0	4,16E-05	0,000445	0	0	0	0	0	2,45E-06	1,22E-05	1,71E-05	0	0,000661	0,000382
ы	0,000296	0,001857	0	9,79E-06	0	0,000181	0	0	0	0	0	0	0	0
ь	0,003968	0,007105	0	4,89E-06	0	0	0,000237	0,000785	3,67E-05	0	0	0	0	2,45E-06
э	9,3E-05	0,000117	8,81E-05	0	3,67E-05	7,34E-06	2,45E-06	0	2,45E-06	8,32E-05	0,000186	1,22E-05	2,69E-05	0,000117
ю	0,000242	5,63E-05	0,001145	0	0	9,79E-06	0	0	0	2,45E-06	0,00035	0	2,2E-05	0,00013
я	0,005578	0,0009	0,000157	0	2,94E-05	0	0	0	0	3,43E-05	0,000526	0	2,94E-05	0,000196

На основі отриманих даних вирахуємо ентропію для кожного випадку (H2_1 – перетинаються, H2_2 – не перетинаються):

H1: 4.3719192771302975

H2_1: 3.968171239330339

H2_2: 3.9681105084082304

Без пробілів:

H1: 4.453315120926602

H2_1: 4.136819747421218

H2_2: 4.13641832945434

Як ми можемо бачити, значення з пробілами та без мають незначну відмінність.

Тепер вирахуємо надлишковість російської мови:

R1: 0.6280807228697025

R2_1: 1.031828760669661

R2_2: 1.0318894915917696

R2_2: 0.8635816705456598

$$2.380 < H < 3.180$$
$$1.557 < H < 2.425$$

Произвольная часть текста:
занял_оставьте_его_

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: 67

Неравенство для энтропии:
 $1,55771360022926 < H < 2,42452612585248$

Двоичная таблица угаданных символов:

00010000000000000000000000000000	▲
10000000000000000000000000000000	
10000000000000000000000000000000	
00000000000001000000000000000000	
10000000000000000000000000000000	▼

Вероятности:

q[1] = 0,5454545
q[2] = 0,1363636
q[3] = 0,0909090
q[4] = 0,0303030
q[5] = 0,0151515
q[6] = 0,0303030
q[7] = 0,0454545
q[8] = 0
q[9] = 0,0151515
q[10] = 0,0151515
q[11] = 0
q[12] = 0
q[13] = 0,0151515
q[14] = 0,0151515
q[15] = 0
q[16] = 0
q[17] = 0
q[18] = 0
q[19] = 0
q[20] = 0
q[21] = 0
q[22] = 0
q[23] = 0
q[24] = 0
q[25] = 0,0151515
q[26] = 0
q[27] = 0,0151515
q[28] = 0,0151515
q[29] = 0
q[30] = 0
q[31] = 0
q[32] = 0

Строка состояния:

Продолжить Другой

$H(30)$:

$1.872 < H < 2.618$

Лабораторная работа №1

Произвольная часть текста:
х_но_они_всегда_были_согласны_в_том_что_брать_каждую_понравившуюся_женщину_

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: _ (пробел)
Символ по счету: 1
Номер эксперимента: 50

Неравенство для энтропии:
 $1,87421081587409 < H < 2,61870290571276$

Двоичная таблица угаданных символов:

00000000000000000000000000000000	▲
10000000000000000000000000000000	
00010000000000000000000000000000	
01000000000000000000000000000000	
10000000000000000000000000000000	▼

Вероятности:

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

Строка состояния:
Вы угадали. Для продолжения опыта нажмите "Продолжить", или "Другой" для выбора другого порядка

Продолжить Другой

Рівняння надлишковості:

$$0.04272461378853975 < R(10) < 0.2835486103197248$$

$$0.27000226051484566 < R(20) < 0.5312962967511813$$

$$0.21190347135169718 < R(30) < 0.4364718481170271$$

Висновок:

Під час виконання практичного практикума ми написали програму для обрахування частот букв та біграм за наданим текстом (використали «Метро 2033»), обчислення ентропії H_1 та H_2 для різних випадків. На основі цих даних, змогли оцінити надлишковість російської мови.

Загалом, ми побачили, що ентропія буде більшою у тексті без пробілів, що є причиною для використання його у шифруваннях, так як ентропія являється мірою невизначеності, а отже чим вона більша, тим більша непередбачуваність появи конкретного символу. Також наглядно бачимо за CoolPinkProgram зменшення ентропії зі збільшенням числа n у n -грамі.