



Міністерство освіти і науки України
НТУУ «Київський політехнічний інститут»
Фізико-технічний інститут

КРИПТОГРАФІЯ КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРАКТИКУМ №1

Експериментальна оцінка ентропії на символ джерела
відкритого тексту.

Перевірив:
Чорний О. М.

Виконали:
студенти III курсу ФТІ
групи ФБ-71
Мельник Дмитрій
Безлюдный Вадим

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

Опис роботи та основні труднощі:

Для роботи було створено текст, який містив у собі цикл статей про шифрування та криптографію і роман М. А. Булгакова «Майстер і Маргарита», таким чином поєднавши науково-технічну та художню літературу. Текстовий файл розміром у 1,4 мб оброблюється програмою за 2-3 секунди в залежності від умов (з пробілами чи без, з перетином біграм чи без). Програма написана на мові Swift. Особливих труднощів під час роботи над комп'ютерним практикумом не виникло, за виключенням того, що декілька разів доводилось змінювати підхід до основного алгоритму програми задля збільшення її оптимізації. В найпершій версії текст проходився програмою $32+32*32$ рази, окремо для пошуку кожної монограми та кожної біграми, що займало набагато більше часу. Проблема була вирішена зміною алгоритму таким чином, що текст потрібно було пройти лише 1 раз, і створивши спеціальний словник та матрицю. З кожним кроком по тексті формується нова біграма (або через крок, якщо задано пошук біграм без перетину), а також перевіряється, чи наявна буква в словнику (якщо так, то її значення в словнику збільшується на 1). Сформовані біграми розбиваються на першу і другу, що відповідним чином вказує на i -тий рядок та j -тий стовпчик в матриці, що вказують на елемент, який також інкрементується. Далі кожне значення в словнику ділиться на суму всіх значень, а кожний елемент матриці – на суму всіх елементів. Таким чином ми отримуємо частоту кожної букви та біграми. Ентропії H_1 і H_2 рахуються за відповідною формулою.

Результати:

Монограми:

З пробілом

о – 0.0952772
е – 0.0684669
а – 0.068008
и – 0.0566651
н – 0.0531222
т – 0.0501816
с – 0.0469641
л – 0.040755
в – 0.0406411
р – 0.039265
к – 0.0288377
д – 0.0255413
м – 0.0249669
у – 0.0220353
п – 0.0216435
я – 0.0178317
г – 0.017157
ь – 0.0158502
ы – 0.0154723
з – 0.0148638
б – 0.0140168
ч – 0.0117437
й – 0.00886741
ж – 0.0085591
ш – 0.00743702
х – 0.00701942
ю – 0.00539621
ц – 0.00305019
э – 0.00245779
щ – 0.00240625
ф – 0.00180453

$H_1 = 3.9419$

Без пробіла

о – 0.113926
е – 0.0818684
а – 0.0813197
и – 0.0677566
н – 0.0635202
т – 0.060004
с – 0.0561567
л – 0.0487323
в – 0.048596
р – 0.0469506
к – 0.0344823
д – 0.0305407
м – 0.0298539
у – 0.0263485
п – 0.0258799
я – 0.021322
г – 0.0205153
ь – 0.0189527
ы – 0.0185008
з – 0.0177732
б – 0.0167604
ч – 0.0140424
й – 0.0106031
ж – 0.0102344
ш – 0.00889271
х – 0.00839337
ю – 0.00645244
ц – 0.00364723
э – 0.00293887
щ – 0.00287724
ф – 0.00215774

$H_1 = 4.45558$

ё

Дані з Інтернету

ранг ♦	буква ♦	употреблений ♦	частотность ♦
1	о	55414481	10.97%
2	е	42691213	8.45%
3	а	40487008	8.01%
4	и	37153142	7.35%
5	н	33838881	6.70%
6	т	31620970	6.26%
7	с	27627040	5.47%
8	р	23916825	4.73%
9	в	22930719	4.54%
10	л	22230174	4.40%
11	к	17653469	3.49%
12	м	16203060	3.21%
13	д	15052118	2.98%
14	п	14201572	2.81%
15	у	13245712	2.62%
16	я	10139085	2.01%
17	ы	9595941	1.90%
18	ь	8784613	1.74%
19	г	8564640	1.70%
20	э	8329904	1.65%
21	б	8051767	1.59%
22	ч	7300193	1.44%
23	й	6106262	1.21%
24	х	4904176	0.97%
25	ж	4746916	0.94%
26	ш	3678738	0.73%
27	ю	3220715	0.64%
28	ц	2438807	0.48%
29	щ	1822476	0.36%
30	э	1610107	0.32%
31	ф	1335747	0.26%
32	ь	185452	0.04%
33	ё	184928	0.04%

Біграми:

Перетинаються, з пробілом – $H_2 = 7.848495$

Не перетинаються, з пробілом – $H_2 = 7.695322$

Перетинаються, без пробіла – $H_2 = 8.221146$

Не перетинаються, без пробіла – $H_2 = 8.214594$

Перетинаються, з пробілом

$N_2 = 7.848495$

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п	р	с	т	у	ф	х	ц	ч	ш	щ	ы	ь	э	ю	я
а	0.000011	0.000884	0.005000	0.001189	0.002651	0.001434	0.001717	0.005659	0.000175	0.000940	0.005863	0.012550	0.003941	0.007246	0.000008	0.001338	0.004340	0.005138	0.006974	0.000196	0.000740	0.001397	0.000108	0.001094	0.001843	0.000352	0.000000	0.000000	0.000001	0.001076	0.000000
б	0.001422	0.000014	0.000122	0.000014	0.000030	0.003067	0.000009	0.000009	0.001055	0.000000	0.000307	0.001124	0.000058	0.000397	0.003231	0.000000	0.001642	0.000108	0.000009	0.001490	0.000000	0.000137	0.000004	0.000027	0.000005	0.000293	0.005524	0.000207	0.000000	0.000005	0.000001
в	0.008251	0.000018	0.000047	0.000050	0.000418	0.006363	0.000000	0.000712	0.004595	0.000000	0.000209	0.001550	0.001542	0.001668	0.010985	0.000341	0.000923	0.004395	0.000310	0.001182	0.000000	0.000056	0.000017	0.000056	0.001690	0.000006	0.003683	0.000247	0.000000	0.000003	0.000002
г	0.001347	0.000000	0.000057	0.000060	0.001442	0.000858	0.000001	0.000000	0.001059	0.000000	0.000110	0.002464	0.000005	0.000355	0.012885	0.000000	0.001724	0.000122	0.000010	0.000927	0.000000	0.000000	0.000002	0.000034	0.000010	0.000000	0.000000	0.000001	0.000000	0.000004	0.000000
д	0.006212	0.000045	0.001355	0.000009	0.000040	0.006445	0.000020	0.000004	0.003587	0.000000	0.000271	0.001141	0.000182	0.002380	0.005332	0.000141	0.002767	0.000568	0.000299	0.002358	0.000008	0.000060	0.000170	0.000046	0.000178	0.000000	0.000874	0.000805	0.000002	0.000061	0.000001
е	0.000046	0.001581	0.002216	0.004874	0.003797	0.002327	0.001481	0.001805	0.000262	0.003450	0.001591	0.008646	0.005712	0.011183	0.000770	0.001280	0.009709	0.006692	0.005513	0.000104	0.000021	0.001332	0.000339	0.001405	0.000973	0.000857	0.000000	0.000000	0.000000	0.000552	0.000000
ж	0.001950	0.000087	0.000000	0.000017	0.001073	0.005340	0.000026	0.000000	0.001948	0.000000	0.000116	0.000006	0.000009	0.001682	0.000074	0.000000	0.000004	0.000034	0.000000	0.000221	0.000000	0.000000	0.000000	0.000053	0.000000	0.000000	0.000000	0.000060	0.000000	0.000054	0.000000
з	0.007383	0.000245	0.001144	0.000597	0.002394	0.000361	0.000227	0.000105	0.000516	0.000000	0.000178	0.000303	0.000380	0.002347	0.000953	0.000028	0.000299	0.000325	0.000021	0.000396	0.000000	0.000000	0.000005	0.000020	0.000014	0.000000	0.000818	0.000930	0.000000	0.000097	0.000000
и	0.000129	0.000634	0.003564	0.000737	0.002158	0.004130	0.000562	0.004220	0.001336	0.001997	0.002814	0.006635	0.004267	0.004575	0.000280	0.000280	0.000798	0.004249	0.004673	0.000008	0.000050	0.002585	0.001703	0.001850	0.000493	0.000199	0.000000	0.000000	0.000000	0.000532	0.000000
й	0.000000	0.000008	0.000000	0.000001	0.000220	0.000005	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000082	0.000114	0.000058	0.000597	0.000017	0.000001	0.000024	0.001029	0.000342	0.000000	0.000002	0.000002	0.000041	0.000081	0.000153	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000001
к	0.011978	0.000000	0.000521	0.000003	0.000010	0.000796	0.000030	0.000014	0.003787	0.000000	0.000021	0.000556	0.000008	0.002215	0.012095	0.000000	0.002183	0.000271	0.000685	0.002123	0.000000	0.000001	0.000016	0.000026	0.000012	0.000000	0.000000	0.000001	0.000000	0.000008	0.000000
л	0.009734	0.000031	0.000008	0.000177	0.000358	0.006255	0.000520	0.000006	0.009009	0.000000	0.000816	0.000147	0.000009	0.000402	0.008999	0.000243	0.000000	0.001720	0.000061	0.001707	0.000010	0.000008	0.000000	0.000274	0.000009	0.000003	0.001452	0.005295	0.000000	0.001540	0.000000
м	0.004035	0.000040	0.000001	0.000069	0.000001	0.005435	0.000000	0.000008	0.004757	0.000000	0.000093	0.000158	0.000032	0.001541	0.004995	0.000300	0.000065	0.000169	0.000063	0.003362	0.000009	0.000000	0.000034	0.000032	0.000008	0.000007	0.001164	0.000047	0.000000	0.000044	0.000000
н	0.015307	0.000019	0.000033	0.000175	0.001358	0.012881	0.000023	0.000019	0.011693	0.000000	0.000302	0.000006	0.000003	0.003959	0.012612	0.000008	0.000093	0.000835	0.000656	0.003187	0.000013	0.000009	0.001027	0.000311	0.000033	0.000163	0.004714	0.001447	0.000001	0.000200	0.000000
о	0.000009	0.004795	0.011769	0.006862	0.006792	0.003448	0.002478	0.001379	0.001185	0.004904	0.003936	0.009871	0.007232	0.009504	0.000291	0.001852	0.009164	0.010374	0.009888	0.000090	0.000486	0.000799	0.000104	0.001901	0.001571	0.000199	0.000000	0.000000	0.000034	0.001195	0.000000
п	0.001737	0.000000	0.000000	0.000005	0.000000	0.003689	0.000000	0.000000	0.001134	0.000000	0.000097	0.001051	0.000000	0.000097	0.012705	0.000071	0.009081	0.000008	0.000061	0.000953	0.000027	0.000000	0.000019	0.000122	0.000007	0.000002	0.000366	0.001255	0.000000	0.000000	0.000000
р	0.012421	0.000235	0.000434	0.000466	0.000489	0.008795	0.000466	0.000049	0.007462	0.000000	0.000341	0.000131	0.000448	0.000920	0.011370	0.000094	0.000028	0.000359	0.000856	0.004122	0.000024	0.000141	0.000119	0.000100	0.000409	0.000070	0.002235	0.001350	0.000001	0.000196	0.000000
с	0.002124	0.000076	0.002625	0.000029	0.000433	0.004987	0.000030	0.000040	0.002105	0.000000	0.007343	0.004044	0.001380	0.001296	0.004224	0.002458	0.000456	0.001333	0.021122	0.001138	0.000019	0.000240	0.000038	0.000476	0.000123	0.000000	0.000523	0.004122	0.000000	0.000164	0.000000
т	0.007964	0.000039	0.003755	0.000014	0.000229	0.006400	0.000001	0.000008	0.005067	0.000000	0.000594	0.000354	0.000036	0.001382	0.021716	0.000087	0.007212	0.001327	0.000171	0.002119	0.000011	0.000017	0.000157	0.000243	0.000001	0.000019	0.002005	0.007731	0.000002	0.000069	0.000000
у	0.000029	0.000833	0.001194	0.001726	0.002434	0.000297	0.001829	0.001297	0.000026	0.000097	0.001127	0.001744	0.001370	0.000399	0.000012	0.000957	0.000909	0.001957	0.001969	0.000005	0.000016	0.000470	0.000011	0.001119	0.001023	0.000383	0.000000	0.000000	0.000028	0.001405	0.000000
ф	0.000210	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000204	0.000000	0.000000	0.000824	0.000000	0.000006	0.000098	0.000003	0.000000	0.000109	0.000000	0.000842	0.000018	0.000018	0.000115	0.000004	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000015	0.000004	0.000000	0.000003	0.000000
х	0.001193	0.000000	0.000174	0.000002	0.000001	0.000046	0.000000	0.000000	0.000222	0.000000	0.000000	0.000127	0.000074	0.000151	0.003093	0.000000	0.000148	0.000089	0.000051	0.000165	0.000000	0.000001	0.000000	0.000000	0.000011	0.000000	0.000000	0.000003	0.000000	0.000000	0.000000
ц	0.000802	0.000000	0.000030	0.000009	0.000001	0.001308	0.000000	0.000000	0.000353	0.000000	0.000181	0.000004	0.000002	0.000008	0.000530	0.000000	0.000000	0.000000	0.000002	0.000840	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000213	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
ч	0.003098	0.000000	0.000007	0.000000	0.000000	0.004540	0.000000	0.000000	0.002064	0.000000	0.000334	0.000053	0.000006	0.000756	0.000101	0.000000	0.000030	0.000000	0.005155	0.000870	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000131	0.000000	0.000000	0.000255	0.000000	0.000000	0.000000
ш	0.002086	0.000000	0.000025	0.000000	0.000000	0.003270	0.000000	0.000000	0.002685	0.000000	0.000566	0.000604	0.000021	0.000532	0.000392	0.000053	0.000003	0.000000	0.000151	0.000432	0.000000	0.000000	0.000002	0.000000	0.000002	0.000000	0.000000	0.000376	0.000001	0.000000	0.000000
щ	0.000547	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.001840	0.000000	0.000000	0.001066	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000043	0.000000	0.000000	0.000003	0.000000	0.000000	0.000130	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000021	0.000000	0.000000	0.000000
ы	0.000000	0.000530	0.001560	0.000119	0.000148	0.001583	0.000028	0.000080	0.000023	0.002036	0.000258	0.003389	0.002149	0.000366	0.000000	0.000154	0.000421	0.001123	0.000973	0.000006	0.000000	0.001522	0.000009	0.000246	0.000695	0.000004	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000002
ь	0.000008	0.000139	0.000011	0.000045	0.000064	0.002124	0.000000	0.000191	0.000201	0.000000	0.001549	0.000000	0.000428	0.001552	0.000047	0.000001	0.000000	0.001188	0.000108	0.000000	0.000004	0.000001	0.000124	0.000079	0.000664	0.000012	0.000000	0.000000	0.000000	0.000735	0.000000
э	0.000000	0.000000	0.000000	0.000007	0.000005	0.000000	0.000000	0.000004	0.000000	0.000016	0.000075	0.000132	0.000007	0.000041	0.000000	0.000041	0.000026	0.000059	0.003296	0.000000	0.000002	0.000009	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
ю	0.000001	0.000588	0.000000	0.000003	0.000620	0.000001																									

Не перетинаються, з пробілом

$$H_2 = 7.695322$$

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п	р	с	т	у	ф	х	ц	ч	ш	щ	ы	ь	э	ю	я
а	0.000012	0.001345	0.005367	0.001857	0.004535	0.001871	0.002435	0.006769	0.000289	0.001518	0.011494	0.014884	0.006714	0.007539	0.000016	0.002775	0.006270	0.007574	0.008589	0.000232	0.000149	0.002051	0.000140	0.001496	0.003905	0.000626	0.000000	0.000000	0.000003	0.001336	0.000000
б	0.000980	0.000026	0.000104	0.000025	0.000067	0.001825	0.000020	0.000020	0.000751	0.000000	0.000535	0.000590	0.000124	0.000653	0.001628	0.000000	0.001574	0.000175	0.000021	0.000959	0.000000	0.000298	0.000001	0.000009	0.000005	0.000642	0.001575	0.000399	0.000000	0.000000	0.000000
в	0.008083	0.000003	0.000004	0.000066	0.000210	0.003956	0.000000	0.000038	0.004938	0.000000	0.000102	0.001850	0.000018	0.001845	0.010139	0.000045	0.000356	0.000780	0.000068	0.001395	0.000000	0.000001	0.000033	0.000003	0.001459	0.000008	0.001733	0.000255	0.000000	0.000000	0.000000
г	0.001151	0.000000	0.000016	0.000003	0.000722	0.000246	0.000000	0.000000	0.000991	0.000000	0.000070	0.000877	0.000001	0.000472	0.012072	0.000000	0.000833	0.000052	0.000003	0.000456	0.000000	0.000000	0.000005	0.000002	0.000012	0.000000	0.000002	0.000000	0.000000	0.000003	0.000000
д	0.005741	0.000008	0.000388	0.000000	0.000002	0.004135	0.000003	0.000002	0.003945	0.000000	0.000099	0.000423	0.000131	0.003218	0.002226	0.000231	0.001642	0.000823	0.000009	0.001707	0.000000	0.000003	0.000284	0.000023	0.000183	0.000000	0.000607	0.000762	0.000004	0.000004	0.000000
е	0.000092	0.003068	0.003001	0.004571	0.003875	0.002276	0.001715	0.002682	0.000394	0.004271	0.002695	0.014399	0.006586	0.014438	0.001586	0.002411	0.014247	0.008447	0.007988	0.000223	0.000024	0.001322	0.000398	0.002089	0.001279	0.000444	0.000000	0.000000	0.000000	0.000653	0.000000
ж	0.001516	0.000192	0.000000	0.000003	0.000971	0.003966	0.000006	0.000000	0.001603	0.000000	0.000131	0.000000	0.000001	0.001348	0.000074	0.000000	0.000000	0.000007	0.000000	0.000203	0.000000	0.000000	0.000000	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000014	0.000000	0.000003	0.000000
з	0.005727	0.000264	0.000917	0.000644	0.003905	0.000160	0.000193	0.000149	0.000277	0.000000	0.000217	0.000171	0.000361	0.001070	0.000361	0.000060	0.000282	0.000014	0.000027	0.000226	0.000000	0.000000	0.000000	0.000004	0.000013	0.000000	0.000644	0.000068	0.000000	0.000003	0.000000
и	0.000151	0.000481	0.003508	0.000455	0.002878	0.004585	0.000371	0.001769	0.001898	0.002580	0.003915	0.008930	0.005242	0.004830	0.000170	0.000242	0.001056	0.004996	0.005845	0.000002	0.000092	0.002908	0.002245	0.002263	0.000580	0.000271	0.000000	0.000000	0.000000	0.000698	0.000000
й	0.000000	0.000006	0.000001	0.000000	0.000109	0.000000	0.000000	0.000001	0.000000	0.000000	0.000046	0.000014	0.000027	0.000557	0.000010	0.000000	0.000004	0.000584	0.000289	0.000000	0.000000	0.000003	0.000034	0.000005	0.000108	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
к	0.008354	0.000001	0.000989	0.000004	0.000023	0.000586	0.000000	0.000032	0.003452	0.000000	0.000036	0.000424	0.000008	0.000743	0.007211	0.000001	0.001039	0.000377	0.000278	0.001283	0.000001	0.000000	0.000027	0.000056	0.000018	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000002	0.000000
л	0.010643	0.000027	0.000003	0.000024	0.000009	0.006412	0.000486	0.000006	0.008525	0.000000	0.000267	0.000068	0.000005	0.000100	0.005874	0.000202	0.000000	0.001419	0.000012	0.001981	0.000002	0.000000	0.000000	0.000089	0.000000	0.000000	0.001960	0.003727	0.000001	0.000872	0.000000
м	0.001523	0.000044	0.000002	0.000006	0.000002	0.006944	0.000000	0.000000	0.003363	0.000000	0.000125	0.000122	0.000006	0.000234	0.002414	0.000425	0.000035	0.000196	0.000037	0.003347	0.000004	0.000001	0.000006	0.000022	0.000006	0.000013	0.000630	0.000006	0.000001	0.000027	0.000000
н	0.011754	0.000020	0.000016	0.000338	0.001442	0.004717	0.000016	0.000029	0.011227	0.000000	0.000200	0.000001	0.000001	0.004639	0.011570	0.000017	0.000009	0.001109	0.000613	0.002598	0.000018	0.000002	0.001838	0.000125	0.000014	0.000013	0.005411	0.001469	0.000001	0.000262	0.000000
о	0.000020	0.002950	0.016254	0.010349	0.009254	0.003812	0.003700	0.002504	0.000517	0.006783	0.007024	0.018016	0.011168	0.005235	0.000555	0.0001804	0.015375	0.015789	0.010653	0.000157	0.000273	0.001241	0.000168	0.002602	0.002767	0.000171	0.000000	0.000000	0.000069	0.001403	0.000000
п	0.001560	0.000002	0.000000	0.000000	0.000000	0.001543	0.000000	0.000000	0.000844	0.000000	0.000130	0.000367	0.000000	0.000107	0.003076	0.000122	0.002285	0.000013	0.000074	0.000729	0.000004	0.000000	0.000001	0.000181	0.000007	0.000000	0.000235	0.000080	0.000000	0.000000	0.000000
р	0.011609	0.000027	0.000124	0.000595	0.000453	0.010091	0.000432	0.000018	0.010521	0.000000	0.000207	0.000161	0.000733	0.000363	0.011117	0.000012	0.000017	0.000203	0.000680	0.004815	0.000025	0.000146	0.000107	0.000093	0.000225	0.000053	0.001613	0.000285	0.000002	0.000109	0.000000
с	0.000714	0.000006	0.000373	0.000018	0.000026	0.006259	0.000003	0.000001	0.001662	0.000000	0.006404	0.001583	0.000363	0.001153	0.001207	0.001690	0.000070	0.000262	0.017119	0.000439	0.000006	0.000148	0.000009	0.000104	0.000012	0.000000	0.000342	0.003096	0.000001	0.000199	0.000000
т	0.007174	0.000086	0.004254	0.000024	0.000501	0.004516	0.000002	0.000019	0.005936	0.000000	0.000891	0.000425	0.000043	0.001575	0.026299	0.000192	0.012804	0.001641	0.000360	0.001989	0.000016	0.000036	0.000341	0.000307	0.000002	0.000001	0.001666	0.006748	0.000001	0.000035	0.000000
у	0.000041	0.000863	0.001577	0.001066	0.003504	0.000159	0.001719	0.002387	0.000050	0.000125	0.001521	0.001659	0.002040	0.000587	0.000026	0.000584	0.001229	0.002088	0.003075	0.000007	0.000030	0.000600	0.000017	0.001318	0.001322	0.000548	0.000000	0.000000	0.000062	0.001567	0.000000
ф	0.000260	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000138	0.000000	0.000000	0.001428	0.000000	0.000001	0.000000	0.000002	0.000001	0.000066	0.000000	0.000065	0.000011	0.000002	0.000142	0.000008	0.000000	0.000000	0.000001	0.000000	0.000000	0.000009	0.000003	0.000000	0.000000	0.000000
х	0.001029	0.000000	0.000176	0.000002	0.000000	0.000033	0.000000	0.000000	0.000184	0.000000	0.000000	0.000023	0.000004	0.000069	0.001456	0.000001	0.000046	0.000109	0.000013	0.000052	0.000001	0.000000	0.000000	0.000001	0.000012	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
ц	0.000466	0.000000	0.000006	0.000000	0.000001	0.001299	0.000001	0.000000	0.000278	0.000000	0.000229	0.000008	0.000001	0.000002	0.000311	0.000000	0.000000	0.000000	0.000002	0.000208	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000248	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
ч	0.003579	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.002838	0.000000	0.000000	0.002169	0.000000	0.000357	0.000022	0.000010	0.000827	0.000093	0.000000	0.000025	0.000000	0.000498	0.000215	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000019	0.000000	0.000000	0.000076	0.000000	0.000000	0.000000
ш	0.001715	0.000000	0.000001	0.000000	0.000000	0.002367	0.000000	0.000000	0.002567	0.000000	0.000435	0.000408	0.000003	0.000553	0.000026	0.000012	0.000002	0.000001	0.000019	0.000256	0.000000	0.000000	0.000002	0.000000	0.000002	0.000000	0.000000	0.000319	0.000000	0.000001	0.000000
щ	0.000493	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.001989	0.000000	0.000000	0.001075	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000011	0.000001	0.000000	0.000008	0.000000	0.000000	0.000142	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000002	0.000000	0.000000	0.000000
ы	0.000000	0.000262	0.002520	0.000224	0.000229	0.002290	0.000056	0.000149	0.000052	0.002572	0.000229	0.007099	0.002841	0.000751	0.000000	0.000289	0.000913	0.002199	0.001862	0.000012	0.000001	0.002077	0.000021	0.000259	0.000708	0.000006	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
ь	0.000000	0.000203	0.000024	0.000093	0.000102	0.003972	0.000001	0.000384	0.000312	0.000001	0.002627	0.000001	0.000881	0.002274	0.000089	0.000002	0.000000	0.001722	0.000163	0.000001	0.000005	0.000000	0.000160	0.000172	0.001391	0.000020	0.000000	0.000000	0.000000	0.000807	0.000000
э	0.000000	0.000000	0.000000	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000001	0.000000	0.000007	0.000003	0.000005	0.000004	0.000002	0.000000	0.000000	0.000005	0.000001	0.000173	0.000000	0.000002	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
ю	0.000000	0.001180	0.000000	0.000000	0.001216	0.000001																									

Перетинаються, без пробіла

N₂ = 8.221146

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п	р	с	т	у	ф	х	ц	ч	ш	щ	ы	ь	э	ю	я
а	0.000283	0.001501	0.006942	0.001484	0.002992	0.001723	0.001524	0.004951	0.001557	0.000755	0.006017	0.010353	0.003931	0.007897	0.001447	0.003035	0.003994	0.006178	0.006445	0.000567	0.000707	0.001232	0.000137	0.001372	0.001562	0.000289	0.000000	0.000000	0.000334	0.000867	0.000000
б	0.001153	0.000016	0.000108	0.000013	0.000028	0.002479	0.000008	0.000011	0.000889	0.000000	0.000249	0.000901	0.000049	0.000330	0.002703	0.000007	0.001318	0.000097	0.000009	0.001231	0.000000	0.000110	0.000003	0.000024	0.000004	0.000234	0.004427	0.000166	0.000041	0.000004	0.000000
в	0.006737	0.000275	0.000596	0.000502	0.000757	0.005283	0.000060	0.000716	0.005034	0.000000	0.000851	0.001410	0.001557	0.001929	0.009316	0.001126	0.001437	0.004609	0.000823	0.001089	0.000034	0.000088	0.000042	0.000231	0.001411	0.000009	0.002952	0.000198	0.000304	0.000004	0.000000
г	0.001105	0.000081	0.000293	0.000086	0.001264	0.000716	0.000017	0.000064	0.001002	0.000000	0.000201	0.001992	0.000047	0.000481	0.010479	0.000261	0.001428	0.000331	0.000063	0.000789	0.000011	0.000009	0.000005	0.000168	0.000012	0.000000	0.000000	0.000001	0.000031	0.000003	0.000000
д	0.004996	0.000081	0.001205	0.001120	0.000076	0.005190	0.000024	0.000050	0.002984	0.000000	0.000318	0.000930	0.000184	0.002056	0.004341	0.000238	0.002259	0.000611	0.000280	0.001915	0.000022	0.000051	0.000140	0.000070	0.000149	0.000000	0.000700	0.000645	0.000026	0.000050	0.000000
е	0.000217	0.002289	0.003777	0.004472	0.003995	0.002269	0.001414	0.002056	0.001557	0.002766	0.002256	0.007325	0.005633	0.010537	0.001992	0.003084	0.008305	0.007624	0.005259	0.000610	0.000094	0.001254	0.000304	0.001663	0.000859	0.000690	0.000000	0.000000	0.000321	0.000445	0.000000
ж	0.001564	0.000079	0.000022	0.000019	0.000872	0.004289	0.000023	0.000008	0.001572	0.000000	0.000105	0.000008	0.000022	0.001377	0.000071	0.000013	0.000005	0.000042	0.000019	0.000180	0.000000	0.000001	0.000000	0.000047	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000012	0.000044	0.000000
з	0.005934	0.000238	0.001032	0.000523	0.001998	0.000311	0.000193	0.000118	0.000459	0.000000	0.000281	0.000267	0.000387	0.001998	0.000850	0.000210	0.000290	0.000440	0.000089	0.000347	0.000007	0.000006	0.000008	0.000040	0.000023	0.000001	0.000655	0.000745	0.000042	0.000078	0.000000
и	0.000343	0.001454	0.005259	0.001265	0.002746	0.003833	0.000643	0.003945	0.002783	0.001603	0.003468	0.005668	0.004063	0.005766	0.001908	0.002615	0.001268	0.005677	0.004718	0.000533	0.000177	0.002220	0.001413	0.002085	0.000532	0.000169	0.000000	0.000001	0.000257	0.000432	0.000000
й	0.000188	0.000336	0.000789	0.000339	0.000695	0.000119	0.000135	0.000159	0.000629	0.000002	0.000675	0.000239	0.000401	0.001078	0.000538	0.000811	0.000359	0.001750	0.000536	0.000176	0.000078	0.000069	0.000065	0.000322	0.000194	0.000003	0.000000	0.000000	0.000067	0.000004	0.000000
к	0.009665	0.000463	0.000800	0.000155	0.000247	0.000718	0.000217	0.000099	0.003358	0.000000	0.000380	0.000501	0.000196	0.002338	0.010090	0.000397	0.001853	0.000709	0.000794	0.001790	0.000025	0.000041	0.000025	0.000158	0.000031	0.000002	0.000000	0.000001	0.000104	0.000008	0.000000
л	0.007915	0.000308	0.000834	0.000387	0.000639	0.005476	0.000463	0.000154	0.007695	0.000001	0.001305	0.000192	0.000140	0.001071	0.008161	0.000983	0.000245	0.002286	0.000354	0.001517	0.000048	0.000039	0.000011	0.000606	0.000053	0.000006	0.001164	0.004244	0.000118	0.001235	0.000000
м	0.003344	0.000350	0.000827	0.000387	0.000403	0.004493	0.000129	0.000172	0.004576	0.000000	0.000649	0.000300	0.000266	0.001877	0.004674	0.001064	0.000253	0.001101	0.000323	0.002894	0.000061	0.000072	0.000041	0.000504	0.000067	0.000008	0.000933	0.000037	0.000078	0.000037	0.000000
н	0.012319	0.000327	0.000562	0.000282	0.001274	0.010397	0.000054	0.000179	0.009726	0.000000	0.000451	0.000046	0.000118	0.003713	0.010416	0.000585	0.000186	0.001209	0.000710	0.002731	0.000031	0.000057	0.000828	0.000350	0.000042	0.000132	0.003778	0.001160	0.000048	0.000161	0.000000
о	0.000210	0.005222	0.012358	0.006115	0.006548	0.003404	0.002400	0.001656	0.002480	0.003931	0.004376	0.008301	0.006584	0.010075	0.002382	0.003803	0.007912	0.010760	0.009181	0.000631	0.000514	0.000809	0.000125	0.002750	0.001345	0.000166	0.000000	0.000000	0.000386	0.000963	0.000000
п	0.001393	0.000001	0.000003	0.000006	0.000001	0.002957	0.000000	0.000000	0.000915	0.000000	0.000082	0.000843	0.000001	0.000083	0.010185	0.000060	0.007278	0.000013	0.000050	0.000764	0.000023	0.000000	0.000015	0.000099	0.000006	0.000002	0.000294	0.001006	0.000002	0.000000	0.000000
р	0.010007	0.000251	0.000978	0.000408	0.000448	0.007065	0.000382	0.000080	0.006114	0.000000	0.000371	0.000119	0.000397	0.000900	0.009224	0.000280	0.000060	0.001805	0.000733	0.003352	0.000038	0.000125	0.000098	0.000111	0.000337	0.000056	0.001791	0.001082	0.000022	0.000157	0.000000
с	0.001744	0.000198	0.002320	0.000159	0.000527	0.004048	0.000125	0.000105	0.001798	0.000000	0.006125	0.003310	0.001196	0.001458	0.003575	0.002263	0.000477	0.001425	0.017209	0.001045	0.000048	0.000207	0.000041	0.000422	0.000118	0.000001	0.000419	0.003303	0.000059	0.000134	0.000000
т	0.006461	0.000321	0.003639	0.000158	0.000462	0.005339	0.000112	0.000125	0.004418	0.000000	0.000759	0.000360	0.000206	0.001623	0.017774	0.000520	0.005893	0.001613	0.000413	0.001802	0.000035	0.000051	0.000136	0.000407	0.000016	0.000018	0.001606	0.006196	0.000122	0.000056	0.000000
у	0.000148	0.000890	0.001580	0.001586	0.002261	0.000352	0.001545	0.001182	0.000664	0.000078	0.001425	0.001498	0.001370	0.001084	0.000423	0.001391	0.000894	0.002242	0.001847	0.000123	0.000047	0.000422	0.000020	0.001318	0.000842	0.000311	0.000000	0.000000	0.000102	0.001127	0.000000
ф	0.000174	0.000009	0.000022	0.000004	0.000003	0.000165	0.000001	0.000005	0.000688	0.000000	0.000012	0.000081	0.000007	0.000015	0.0000105	0.000020	0.000695	0.000036	0.000023	0.000096	0.000004	0.000001	0.000000	0.000002	0.000002	0.000000	0.000012	0.000003	0.000000	0.000002	0.000000
х	0.000999	0.000158	0.000530	0.000149	0.000212	0.000102	0.000048	0.000083	0.000525	0.000000	0.000234	0.000293	0.000201	0.000421	0.002750	0.000450	0.000242	0.000544	0.000161	0.000235	0.000027	0.000017	0.000012	0.000076	0.000028	0.000001	0.000000	0.000003	0.000039	0.000000	0.000000
ц	0.000648	0.000010	0.000053	0.000019	0.000009	0.001055	0.000001	0.000005	0.000307	0.000000	0.000163	0.000006	0.000011	0.000028	0.000445	0.000035	0.000007	0.000036	0.000015	0.000675	0.000001	0.000001	0.000000	0.000005	0.000001	0.000000	0.000171	0.000000	0.000004	0.000000	0.000000
ч	0.002488	0.000011	0.000041	0.000152	0.000008	0.003641	0.000001	0.000003	0.001668	0.000000	0.000278	0.000046	0.000010	0.000622	0.000100	0.000034	0.000042	0.000028	0.004138	0.000703	0.000000	0.000002	0.000000	0.000007	0.000107	0.000000	0.000000	0.000204	0.000002	0.000000	0.000000
ш	0.001673	0.000010	0.000028	0.000003	0.000006	0.002621	0.000001	0.000002	0.002157	0.000000	0.000460	0.000486	0.000022	0.000435	0.000320	0.000055	0.000007	0.000008	0.000124	0.000347	0.000000	0.000000	0.000002	0.000001	0.000002	0.000000	0.000000	0.000302	0.000003	0.000000	0.000000
щ	0.000438	0.000000	0.000001	0.000000	0.000000	0.001475	0.000000	0.000000	0.000856	0.000000	0.000001	0.000000	0.000000	0.000035	0.000000	0.000000	0.000004	0.000000	0.000000	0.000104	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000017	0.000000	0.000000	0.000000
ы	0.000054	0.000684	0.001713	0.000211	0.000341	0.001376	0.000064	0.000210	0.000487	0.001633	0.000444	0.002773	0.001942	0.000848	0.000308	0.000619	0.000454	0.001376	0.000981	0.000098	0.000026	0.001261	0.000015	0.000297	0.000576	0.000006	0.000000	0.000000	0.000056	0.000000	0.000000
ь	0.000473	0.000455	0.001302	0.000284	0.000457	0.002190	0.000071	0.000418	0.001009	0.000001	0.001960	0.000157	0.000632	0.002258	0.000776	0.000984	0.000235	0.002096	0.000553	0.000207	0.000041	0.000082	0.000113	0.000467	0.000568	0.000011	0.000000	0.000000	0.000201	0.000591	0.000000
э	0.000000	0.000000	0.000003	0.000006	0.000007	0.000000	0.000000	0.000003	0.000000	0.000013	0.000061	0.000106	0.000006	0.000033	0.000000	0.000034	0.000020	0.000048	0.002642	0.000000	0.000001	0.000007	0.000001	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
ю	0.000121	0.000576	0.000330	0.000140	0.000677	0.000085																									

Не перетинаються, без пробіла

H₂ = 8.214594

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п	р	с	т	у	ф	х	ц	ч	ш	щ	ы	ь	э	ю	я
а	0.000292	0.001569	0.006933	0.001587	0.003126	0.001777	0.001512	0.004951	0.001612	0.000777	0.006482	0.010556	0.003964	0.007649	0.001479	0.003226	0.003818	0.006520	0.006606	0.000608	0.000684	0.001305	0.000134	0.001367	0.001670	0.000305	0.000000	0.000000	0.000367	0.000899	0.000000
б	0.001120	0.000011	0.000104	0.000013	0.000029	0.002420	0.000011	0.000012	0.000908	0.000000	0.000266	0.000882	0.000059	0.000333	0.002698	0.000008	0.001311	0.000092	0.000009	0.001212	0.000000	0.000107	0.000002	0.000019	0.000003	0.000265	0.004403	0.000176	0.000047	0.000005	0.000000
в	0.006590	0.000253	0.000576	0.000477	0.000734	0.005253	0.000059	0.000672	0.004986	0.000000	0.000801	0.001368	0.001598	0.001942	0.009196	0.001045	0.001398	0.004321	0.000754	0.001115	0.000032	0.000091	0.000046	0.000209	0.001263	0.000006	0.002922	0.000214	0.000300	0.000006	0.000000
г	0.001093	0.000094	0.000296	0.000079	0.001271	0.000682	0.000015	0.000057	0.000906	0.000000	0.000180	0.001907	0.000044	0.000495	0.010220	0.000245	0.001372	0.000344	0.000059	0.000748	0.000009	0.000009	0.000006	0.000144	0.000015	0.000000	0.000001	0.000001	0.000034	0.000003	0.000000
д	0.004963	0.000072	0.001163	0.001147	0.000072	0.005046	0.000019	0.000049	0.002999	0.000000	0.000285	0.000853	0.000147	0.002037	0.004210	0.000247	0.001697	0.000612	0.000292	0.001848	0.000019	0.000046	0.000146	0.000059	0.000149	0.000001	0.000528	0.000626	0.000024	0.000009	0.000000
е	0.000237	0.002424	0.003874	0.004657	0.004010	0.002299	0.001424	0.002101	0.001539	0.002371	0.002316	0.007900	0.005664	0.010660	0.002055	0.003141	0.008597	0.007846	0.005281	0.000630	0.000094	0.001278	0.000319	0.001682	0.000886	0.000654	0.000000	0.000000	0.000307	0.000380	0.000000
ж	0.001555	0.000089	0.000019	0.000020	0.000832	0.004205	0.000020	0.000003	0.001564	0.000000	0.000109	0.000011	0.000022	0.001026	0.000076	0.000016	0.000004	0.000044	0.000022	0.000181	0.000000	0.000001	0.000000	0.000050	0.000000	0.000000	0.000000	0.000039	0.000013	0.000046	0.000000
з	0.005781	0.000270	0.001041	0.000553	0.001976	0.000271	0.000194	0.000127	0.000439	0.000000	0.000298	0.000263	0.000380	0.001899	0.000831	0.000218	0.000296	0.000462	0.000089	0.000339	0.000007	0.000006	0.000008	0.000043	0.000013	0.000001	0.000611	0.000113	0.000046	0.000003	0.000000
и	0.000335	0.001443	0.005215	0.001273	0.002746	0.003934	0.000643	0.003878	0.002918	0.001709	0.003502	0.005938	0.004069	0.005731	0.001859	0.002557	0.001232	0.005861	0.004721	0.000518	0.000181	0.002257	0.001449	0.002098	0.000510	0.000168	0.000000	0.000000	0.000257	0.000442	0.000000
й	0.000184	0.000345	0.000853	0.000333	0.000715	0.000131	0.000151	0.000161	0.000656	0.000003	0.000682	0.000262	0.000415	0.001104	0.000576	0.000869	0.000355	0.001773	0.000550	0.000190	0.000084	0.000069	0.000064	0.000342	0.000194	0.000003	0.000000	0.000000	0.000064	0.000006	0.000000
к	0.009738	0.000431	0.000761	0.000144	0.000196	0.000738	0.000207	0.000082	0.003359	0.000000	0.000329	0.000484	0.000171	0.002204	0.009885	0.000365	0.001759	0.000668	0.000758	0.001748	0.000023	0.000043	0.000020	0.000142	0.000021	0.000001	0.000000	0.000001	0.000093	0.000005	0.000000
л	0.007785	0.000303	0.000764	0.000378	0.000618	0.005558	0.000444	0.000138	0.007420	0.000002	0.001300	0.000187	0.000135	0.001003	0.007955	0.000932	0.000235	0.002033	0.000330	0.001506	0.000046	0.000044	0.000011	0.000583	0.000054	0.000006	0.001169	0.004089	0.000112	0.001205	0.000000
м	0.003403	0.000330	0.000818	0.000375	0.000415	0.004382	0.000114	0.000169	0.004359	0.000001	0.000643	0.000293	0.000270	0.001841	0.004552	0.001079	0.000253	0.001067	0.000324	0.002971	0.000062	0.000069	0.000042	0.000513	0.000062	0.000004	0.000912	0.000034	0.000069	0.000040	0.000000
н	0.011950	0.000322	0.000584	0.000283	0.001803	0.010148	0.000048	0.000187	0.009749	0.000000	0.000453	0.000052	0.000123	0.003580	0.010609	0.000618	0.000183	0.001199	0.000741	0.002575	0.000031	0.000065	0.000835	0.000339	0.000042	0.000114	0.003951	0.001184	0.000054	0.000169	0.000000
о	0.000213	0.005014	0.012553	0.006410	0.006722	0.003420	0.002449	0.001729	0.002488	0.003990	0.004418	0.008603	0.006817	0.010144	0.002448	0.003858	0.008236	0.011044	0.009177	0.000643	0.000535	0.000818	0.000125	0.002945	0.001403	0.000161	0.000000	0.000000	0.000409	0.000961	0.000000
п	0.001384	0.000001	0.000003	0.000006	0.000002	0.002881	0.000000	0.000000	0.000899	0.000000	0.000076	0.000801	0.000002	0.000085	0.009790	0.000073	0.006935	0.000016	0.000051	0.000744	0.000019	0.000000	0.000015	0.000093	0.000006	0.000001	0.000300	0.000982	0.000003	0.000000	0.000000
р	0.010115	0.000247	0.001016	0.000412	0.000480	0.007639	0.000372	0.000085	0.006316	0.000000	0.000329	0.000124	0.000420	0.000863	0.009464	0.000287	0.000059	0.001716	0.000722	0.003416	0.000043	0.000124	0.000087	0.000104	0.000339	0.000052	0.001800	0.001232	0.000022	0.000144	0.000000
с	0.001690	0.000197	0.002183	0.000148	0.000502	0.004182	0.000115	0.000099	0.001720	0.000000	0.006078	0.003186	0.001163	0.001276	0.003479	0.002225	0.000428	0.001344	0.017086	0.001006	0.000038	0.000204	0.000041	0.000401	0.000117	0.000000	0.000407	0.002585	0.000049	0.000151	0.000000
т	0.006463	0.000331	0.003696	0.000158	0.000467	0.004974	0.000112	0.000131	0.004419	0.000000	0.000790	0.000342	0.000216	0.001439	0.018123	0.000507	0.006003	0.001690	0.000418	0.001830	0.000034	0.000049	0.000144	0.000403	0.000017	0.000016	0.001561	0.005657	0.000125	0.000048	0.000000
у	0.000143	0.000861	0.001587	0.001523	0.002313	0.000347	0.001549	0.001221	0.000672	0.000069	0.001415	0.001594	0.001424	0.001111	0.000407	0.001380	0.000929	0.002272	0.001936	0.000125	0.000046	0.000423	0.000019	0.001349	0.000892	0.000319	0.000000	0.000000	0.000101	0.001152	0.000000
ф	0.000157	0.000012	0.000026	0.000006	0.000004	0.000170	0.000001	0.000006	0.000690	0.000000	0.000013	0.000084	0.000008	0.000014	0.000102	0.000019	0.000678	0.000037	0.000020	0.000105	0.000004	0.000000	0.000000	0.000001	0.000002	0.000000	0.000008	0.000003	0.000000	0.000002	0.000000
х	0.001014	0.000150	0.000494	0.000132	0.000204	0.000102	0.000046	0.000074	0.000491	0.000000	0.000215	0.000280	0.000183	0.000399	0.002638	0.000440	0.000240	0.000522	0.000154	0.000240	0.000028	0.000019	0.000009	0.000072	0.000029	0.000001	0.000000	0.000000	0.000042	0.000000	0.000000
ц	0.000629	0.000010	0.000052	0.000019	0.000007	0.001029	0.000000	0.000003	0.000293	0.000000	0.000168	0.000006	0.000009	0.000029	0.000452	0.000029	0.000006	0.000037	0.000012	0.000674	0.000001	0.000002	0.000000	0.000005	0.000000	0.000000	0.000177	0.000000	0.000006	0.000000	0.000000
ч	0.002543	0.000013	0.000035	0.000159	0.000007	0.003614	0.000001	0.000003	0.001660	0.000000	0.000266	0.000040	0.000013	0.000620	0.000087	0.000025	0.000040	0.000026	0.003802	0.000705	0.000000	0.000002	0.000000	0.000003	0.000108	0.000000	0.000000	0.000205	0.000003	0.000000	0.000000
ш	0.001633	0.000009	0.000026	0.000001	0.000006	0.002649	0.000000	0.000002	0.002244	0.000000	0.000401	0.000487	0.000024	0.000442	0.000319	0.000061	0.000007	0.000006	0.000123	0.000350	0.000000	0.000000	0.000003	0.000002	0.000001	0.000000	0.000000	0.000303	0.000002	0.000001	0.000000
щ	0.000415	0.000000	0.000001	0.000000	0.000000	0.001427	0.000000	0.000000	0.000818	0.000000	0.000002	0.000000	0.000000	0.000026	0.000000	0.000000	0.000003	0.000001	0.000000	0.000103	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000011	0.000000	0.000000	0.000000
ы	0.000052	0.000666	0.001845	0.000216	0.000336	0.001423	0.000062	0.000214	0.000497	0.001636	0.000482	0.002886	0.001920	0.000895	0.000324	0.000644	0.000466	0.001437	0.001016	0.000087	0.000028	0.001323	0.000012	0.000294	0.000592	0.000006	0.000000	0.000000	0.000062	0.000000	0.000000
ь	0.000847	0.000556	0.001573	0.000318	0.000519	0.002268	0.000076	0.000484	0.001075	0.000000	0.002123	0.000171	0.000688	0.002501	0.000889	0.001173	0.000265	0.002451	0.000623	0.000254	0.000052	0.000084	0.000123	0.000504	0.000567	0.000011	0.000000	0.000000	0.000210	0.000611	0.000000
э	0.000000	0.000000	0.000003	0.000004	0.000007	0.000000	0.000000	0.000001	0.000000	0.000016	0.000060	0.000106	0.000003	0.000036	0.000000	0.000031	0.000018	0.000056	0.002504	0.000000	0.000000	0.000004	0.000001	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
ю	0.000169	0.000605	0.000356	0.000146	0.000706	0.000085	0.																								

2. За допомогою програми CoolPinkProgram оцінити значення (10) Н, (20) Н, (30) Н.

[illegible]

Ентропія імовірнісного ансамблю $\langle Z, P \rangle$ – це величина

[illegible]

Ентропія імовірнісного ансамблю $\langle L, P \rangle$ – це величина

[illegible]

Ентропія імовірнісного ансамблю $\langle Z, P \rangle$ – це величина

3. Використовуючи отримані значення ентропії, оцінити надлишковість російської мови в різних моделях джерела.

$$R = 1 - \frac{H_{\infty}}{H_0} \quad H_0 = \log_2 32 = 5$$

Без пробіла, H_1 :

$$R = 1 - \frac{4.45558}{5} = 0,891116$$

З пробілом, H_1 :

$$R = 1 - \frac{3.9419}{5} = 0,78838$$

Перетинаються, з пробілом, H_2 :

$$R = 1 - \frac{7.848495}{5} = 1,569699$$

Не перетинаються, з пробілом, H_2 :

$$R = 1 - \frac{7.695322}{5} = 1,5390644$$

Перетинаються, без пробіла, H_2 :

$$R = 1 - \frac{8.221146}{5} = 1,6442292$$

Не перетинаються, без пробіла, H_2 :

$$R = 1 - \frac{8.214594}{5} = 1,6429188$$

Код програми

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>
#include <algorithm>
#include <iomanip>
#include <cmath>

using namespace std;
double sum = 0;
double entropy(double tmp)
{
    if (tmp == 0.) return 0;
    return -tmp * log2( tmp );
}

void quickSort(int arr[], char strLC[], int left, int right) {

    int i = left, j = right;

    int tmp;
    char ctmp;

    int pivot = arr[(left + right) / 2];
    while (i <= j) {

        while (arr[i] < pivot)

            i++;

        while (arr[j] > pivot)

            j--;

        if (i <= j) {

            ctmp = strLC[i];
            tmp = arr[i];

            strLC[i] = strLC[j];
            arr[i] = arr[j];

            strLC[j] = ctmp;
            arr[j] = tmp;

            i++;

            j--;

        }

    }
```

```

};
if (left < j)

    quickSort(arr, strLC, left, j);

if (i < right)

    quickSort(arr, strLC, i, right);

}

void copytext()
{
    ofstream output("output.txt");
    ifstream input("input.txt");

    string str, str1 = "";
    bool flag = 0;
    const int n = 34;
    int length;
    char strLC[n] = { ' ', 'а', 'б', 'в', 'г', 'д', 'е', 'ё', 'ж', 'з',
'и', 'й', 'к', 'л', 'м', 'н', 'о', 'п', 'р', 'с', 'т', 'у', 'ф', 'х',
'ц', 'ч', 'ш', 'щ', 'ъ', 'ы', 'ь', 'э', 'ю', 'я' };
    char strUC[n] = { ' ', 'А', 'Б', 'В', 'Г', 'Д', 'Е', 'Ё', 'Ж', 'З',
'И', 'Й', 'К', 'Л', 'М', 'Н', 'О', 'П', 'Р', 'С', 'Т', 'У', 'Ф', 'Х',
'Ц', 'Ч', 'Ш', 'Щ', 'Ъ', 'Ы', 'Ь', 'Э', 'Ю', 'Я' };

    while (input)
    {
        getline(input, str);
        length = str.length();
        for (int i = 0; i < length; i++)
        {
            flag = 0;
            for (int j = 0; j < n; j++)
                if (str[i] == strLC[j] || str[i] == strUC[j])
                {
                    if (j == 7) { str1 += strLC[j - 1]; flag = 1; break;}
                    if(j == 28){ str1+=strLC[30]; flag = 1; break;}
                    str1 += strLC[j];
                    flag = 1;
                    break;
                }

            if (!flag) { str.erase(i, 1); i--; length--; }

        }
        str1 += " ";
        if (input.eof())break;
    }
    string strtemp = "";

```

```

length = str1.length() - 1;
for (int i = 0; i < length; i++)
{
    strtemp = str1[i];
    strtemp += str1[i + 1];
    if (strtemp == " ") { str1.erase(i, 1); i--; length--; }
}

output << str1 << endl;

input.close();
output.close();
}

void monog()
{
    ofstream output("monog.txt");
    ifstream input("output.txt");

    string str;

    const int n = 32;
    int length;
    double lengfull = 0.0, tmp = 0.0;
    char strLC[n] = { ' ', 'а', 'б', 'в', 'г', 'д', 'е', 'ж', 'з', 'и',
'й', 'к', 'л', 'м', 'н', 'о', 'п', 'р', 'с', 'т', 'у', 'ф', 'х', 'ц',
'ч', 'ш', 'щ', 'ы', 'ь', 'э', 'ю', 'я' };

    int arr[n];
    for (int i = 0; i < n; i++)
        arr[i] = 0;
    while (input)
    {
        getline(input, str);
        length = str.length();
        lengfull += length;
        for (int i = 0; i < length; i++)
        {
            for (int j = 0; j < n; j++)
                if (str[i] == strLC[j]) arr[j]++;
        }
    }

    int snum = arr[0]; // number of spaces in text

    quickSort(&arr[0], &strLC[0], 0, n - 1);

    output << setw(6) << "With space: " << " " << endl;
    for (int j = n-1; j >= 0; j--)
    {
        if (strLC[j] == ' ')continue;

```

```

        tmp = arr[j] / lengfull;
        sum = sum + entropy(tmp);
        output << strLC[j] << " - " << std::setprecision(6) << tmp << setw(6) << "
" << endl;
    }
    output << "Entropia - " << sum << setw(6) << endl;

    output << setw(6) << "Without space: " << " " << endl;
    sum = 0;
    for (int j = n-1; j >= 0; j--)
    {
        if (strLC[j] == ' ')continue;
        tmp = arr[j] / (lengfull - snum);
        sum = sum + entropy(tmp);
        output << strLC[j] << " - " << std::setprecision(6) << tmp << setw(6) << "
" << endl;
    }
    output << "Entropia - " << sum << setw(6) << endl;
    input.close();
    output.close();
}

```

```

void bigr_ws_wi() // Перетин з пробілами
{

```

```

    ofstream output("bigr_ws_wi.txt");
    ifstream input("output.txt");//changed

    string str;
    const int n = 32;
    int length;
    double tmp = 0.0;
    char strLC[n] = { ' ', 'а', 'б', 'в', 'г', 'д', 'е', 'ж', 'з', 'и',
'й', 'к', 'л', 'м', 'н', 'о', 'п', 'р', 'с', 'т', 'у', 'ф', 'х', 'ц',
'ч', 'ш', 'щ', 'ы', 'ь', 'э', 'ю', 'я' };
    int arr[n * n];

    for (int i = 0; i < n * n; i++)
        arr[i] = 0;

    double count = 0.0;

    string arr1[n * n];
    for (int i = 0; i < n * n; i++)
        arr1[i] == " ";//////Типу весь масив забив нулями
(подвійними пробілами)

    while (input)
    {
        getline(input, str);
        length = str.length();

        for (int i = 0; i < length; i++)
        {
            if (str[i] == ' ' || str[i] == EOF)continue;

```

```

        for (int k = 0; k < n; k++)
            if (str[i] == strLC[k])
            {
                if (str[i + 1] == ' ' || str[i + 1] == EOF) { i++;
continue; }

                for (int j = 0; j < n; j++)
                    if (str[i + 1] == strLC[j])
                    {
                        arr[k * n + j] += 1;
                        count++;
                        break;
                    }
                break;
            }
        }
        if (input.eof())break;

    }

    output <<fixed<< " "; //Matrix for frequency
    for (int i = 1; i < 32; i++)
        output << setw(9) << strLC[i] << " ";
    output << "\n\n\n";
    for (int i = 1; i < 32; i++)
    {
        output << strLC[i] << " ";
        for (int j = 1; j < 32; j++)
            output << setw(9) << floor((arr[i * n + j] / count ) * 1000000.) /
1000000. << " ";
        output << "\n\n\n";
    }

    output << "\n\n\n\n\n\n\n";
    sum = 0;
    for (int i = 1; i < 32; i++) //Matrix for entropy
        output << setw(9) << strLC[i] << " ";
    output << "\n\n\n";
    for (int i = 1; i < 32; i++)
    {
        output << strLC[i] << " ";
        for (int j = 1; j < 32; j++)
        {
            tmp = floor((arr[i * n + j] / count) * 1000000.) / 1000000.;
            sum = sum + entropy(tmp);
            output << setw(9) << entropy(tmp) << " ";
        }
        output << "\n\n\n";
    }
    output <<setw(9) << "Entropy = " << sum << endl;

```



```

        input.close();
        output.close();
    }

```

```

void bigr_ws_ni() // Без перетину з пробілами
{

```

```

    ofstream output("bigr_ws_ni.txt");
    ifstream input("output.txt");

```

```

    string str;
    const int n = 32;
    int length;
    double tmp = 0.0;

```

```

    char strLC[n] = { ' ', 'а', 'б', 'в', 'г', 'д', 'е', 'ж', 'з', 'и',
'й', 'к', 'л', 'м', 'н', 'о', 'п', 'р', 'с', 'т', 'у', 'ф', 'х', 'ц',
'ч', 'ш', 'щ', 'ы', 'ь', 'э', 'ю', 'я' };
    int arr[n * n];

```

```

    for (int i = 0; i < n * n; i++)
        arr[i] = 0;

```

```

    double count = 0.0;

```

```

    string arr1[n * n];
    for (int i = 0; i < n * n; i++)
        arr1[i] == " ";

```

```

    while (input)
    {

```

```

        getline(input, str);
        length = str.length();

```

```

        for (int i = 0; i < length; i = i + 2)
        {

```

```

            if (str[i] == ' ' || str[i] == EOF) continue;

```

```

            for (int k = 0; k < n; k++)
                if (str[i] == strLC[k])
                {

```

```

                    if (str[i + 1] == ' ' || str[i + 1] == EOF) { i++;

```

```

continue; }

```

```

                    for (int j = 0; j < n; j++)
                        if (str[i + 1] == strLC[j])
                        {

```

```

                            if (arr[k * n + j] == 0) arr1[k * n + j] =

```

```

strLC[k] + strLC[j];

```

```

                            arr[k * n + j] += 1;
                            count++;
                            break;

```

```

                        }

```

```

                    break;

```

```

                }

```

```

    }

    if (input.eof())break;

}

output << fixed << " ";
for (int i = 1; i < 32; i++) //Matrix for frequency
    output << setw(9) << strLC[i] << " ";
output << "\n\n\n";
for (int i = 1; i < 32; i++)
{
    output << strLC[i] << " ";
    for (int j = 1; j < 32; j++)
        output << setw(9) << floor((arr[i * n + j] / count) * 1000000.) /
1000000. << " ";
    output << "\n\n\n";
}

output << "\n\n\n\n\n\n\n";
sum = 0;
for (int i = 1; i < 32; i++) //Matrix for entropy
    output << setw(9) << strLC[i] << " ";
output << "\n\n\n";
for (int i = 1; i < 32; i++)
{
    output << strLC[i] << " ";
    for (int j = 1; j < 32; j++)
    {
        tmp = floor((arr[i * n + j] / count) * 1000000.) / 1000000.;
        sum = sum + entropy(tmp);
        output << setw(9) << entropy(tmp) << " ";
    }
    output << "\n\n\n";
}
output << setw(9)<<"Entropy = " << sum << endl;

input.close();
output.close();
}

```

```

void bigr_ns_wi() // Перетин без пробілів
{

```

```

    ofstream output("bigr_ns_wi.txt");
    ifstream input("output_ns.txt");
    double tmp = 0.0;
    string str;
    const int n = 32;
    int length;

    char strLC[n] = { ' ', 'а', 'б', 'в', 'г', 'д', 'е', 'ж', 'з', 'и',
'й', 'к', 'л', 'м', 'н', 'о', 'п', 'р', 'с', 'т', 'у', 'ф', 'х', 'ц',

```

```

' ч', ' ш', ' щ', ' ы', ' ь', ' э', ' ю', ' я' };
int arr[n * n];

for (int i = 0; i < n * n; i++)
    arr[i] = 0;

double count = 0.0;

while (input)
{
    getline(input, str);
    length = str.length();

    for (int i = 0; i < length; i++)
    {
        if (str[i] == EOF) continue;

        for (int k = 1; k < n; k++)
            if (str[i] == strLC[k])
            {
                if (str[i + 1] == EOF) { i++; continue; }
                for (int j = 1; j < n; j++)
                    if (str[i + 1] == strLC[j])
                    {
                        arr[k * n + j] += 1;
                        count++;
                        break;
                    }
                break;
            }

        }

    }
    if (input.eof()) break;
}

output << fixed << " ";
for (int i = 1; i < 32; i++) //For Freq
    output << setw(9) << strLC[i] << " ";
output << "¥n¥n¥n";
for (int i = 1; i < 32; i++)
{
    output << strLC[i] << " ";
    for (int j = 1; j < 32; j++)
        output << setw(9) << floor((arr[i * n + j] / count) * 1000000.) /
1000000. << " ";
    output << "¥n¥n¥n";
}

output << "¥n¥n¥n¥n¥n¥n";
sum = 0;
for (int i = 1; i < 32; i++) //Matrix for entropy
    output << setw(9) << strLC[i] << " ";

```

```

output << "¥n¥n¥n";
for (int i = 1; i < 32; i++)
{
    output << strLC[i] << " ";
    for (int j = 1; j < 32; j++)
    {
        tmp = floor((arr[i * n + j] / count) * 1000000.) / 1000000.;
        sum = sum + entropy(tmp);
        output << setw(9) << entropy(tmp) << " ";
    }
    output << "¥n¥n¥n";
}
output << setw(9) << "Entropy = " << sum << endl;
input.close();
output.close();
}

```

```

void bigr_ns_ni() // Б е з п е р е т и н у б е з п р о б і л і в
{
    ofstream output("bigr_ns_ni.txt");
    ifstream input("output_ns.txt");

    string str;
    const int n = 32;
    int length;
    double tmp = 0.0;
    char strLC[n] = { ' ', 'а', 'б', 'в', 'г', 'д', 'е', 'ж', 'з', 'и',
'й', 'к', 'л', 'м', 'н', 'о', 'п', 'р', 'с', 'т', 'у', 'ф', 'х', 'ц',
'ч', 'ш', 'щ', 'ы', 'ь', 'э', 'ю', 'я' };
    int arr[n * n];

    for (int i = 0; i < n * n; i++)
        arr[i] = 0;

    double count = 0.0;

    while (input)
    {
        getline(input, str);
        length = str.length();

        for (int i = 0; i < length; i = i + 2)
        {
            if (str[i] == EOF) continue;

            for (int k = 1; k < n; k++)
                if (str[i] == strLC[k])
                {
                    if (str[i + 1] == EOF) { i++; continue; }
                    for (int j = 1; j < n; j++)
                        if (str[i + 1] == strLC[j])
                        {

```

```

arr[k * n + j] += 1;
count++;
break;
    }
    break;
}

}
if (input.eof())break;

}

output << fixed << " ";
for (int i = 1; i < 32; i++) //For freq
    output << setw(9) << strLC[i] << " ";
output << "\n\n\n";
for (int i = 1; i < 32; i++)
{
    output << strLC[i] << " ";
    for (int j = 1; j < 32; j++)
        output << setw(9) << floor((arr[i * n + j] / count) * 1000000.) /
1000000. << " ";
    output << "\n\n\n";
}

output << "\n\n\n\n\n\n\n";
sum = 0;
for (int i = 1; i < 32; i++) //Matrix for entropy
    output << setw(9) << strLC[i] << " ";
output << "\n\n\n";
for (int i = 1; i < 32; i++)
{
    output << strLC[i] << " ";
    for (int j = 1; j < 32; j++)
    {
        tmp = floor((arr[i * n + j] / count) * 1000000.) / 1000000.;
        sum = sum + entropy(tmp);
        output << setw(9) << entropy(tmp) << " ";
    }
    output << "\n\n\n";
}
output << setw(9) << "Entropy = " << sum << endl;

input.close();
output.close();
}

int main() {

    setlocale(LC_ALL, "Russian");

```

```
    copytext();  
    monog();  
    bigr_ws_wi();  
    bigr_ws_ni();  
    bigr_ns_wi();  
    bigr_ns_ni();  
  
    system("pause");  
    return 0;  
}
```

Висновок:

Отже, в ході практикума ми засвоїли поняття 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