

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ  
УКРАЇНИ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
УКРАЇНИ**

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ  
СІКОРСЬКОГО»**

**ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

**КРИПТОГРАФІЯ**

**КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРАКТИКУМ №1**

**Експериментальна оцінка ентропії на символ джерела  
відкритого тексту**

Виконали:

Орлов Дмитро ФБ-14

Макуха Андрій ФБ-14

Перевірила

Селюх П. В.

Київ 2023

## 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:

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

## Хід роботи:

При обрахуванні будь-якого з варіантів значень ентропії та частоти літер необхідно очистити текст від зайвих символів, а також для зручності відображення замінити пробіл на нижнє підкреслення.

Наступним етапом є обрахування ентропії для окремих літер (монограм), тому завдяки через проходження тексту рахуємо кількість літер та відповідно їх частоту для випадку з пробілом та без:

	Letter	Frequency		Letter	Frequency
0	—	0,1648470828	0	о	0,11446910168
1	о	0,0955992042	1	е	0,07871920031
2	е	0,0657425697	2	а	0,07678398187
3	а	0,0641263664	3	и	0,06957643604
4	и	0,0581069635	4	н	0,06737201399
5	н	0,0562659340	5	т	0,05542377558
6	т	0,0462873278	6	л	0,05317702592
7	л	0,0444109483	7	с	0,05216624254
8	с	0,0435667896	8	р	0,04763888112
9	р	0,0397857505	9	в	0,04134222551
10	в	0,0345270802	10	д	0,03460536273
11	д	0,0289007696	11	м	0,03145618838
12	м	0,0262707274	12	к	0,03122253996
13	к	0,0260755953	13	у	0,02836288647
14	у	0,0236873473	14	п	0,02826468641
15	п	0,0236053353	15	ь	0,02190877214
16	ь	0,0182971749	16	ы	0,02021736075
17	ы	0,0168845878	17	я	0,01996339508
18	я	0,0166724876	18	г	0,01977038116
19	г	0,0165112915	19	б	0,01962816039
20	б	0,0163925154	20	з	0,01833632166
21	з	0,0153136325	21	ч	0,01326039439
22	ч	0,0110744570	22	х	0,01047693060
23	х	0,0087498391	23	й	0,01041089952
24	й	0,0086946931	24	ж	0,00920710223
25	ж	0,0076893382	25	ш	0,00799483941
26	ш	0,0066769134	26	ю	0,00486090300
27	ю	0,0040595973	27	э	0,00418704741
28	э	0,0034968248	28	ф	0,00329816755
29	ф	0,0027544742	29	ц	0,00298155701
30	ц	0,0024900560	30	щ	0,00291721904
31	щ	0,0024363239			

Без пробілів:

H1 entropy:4.472479351355553  
Redundancy:0.09723412817157906

З пробілами:

H1 entropy:4.380984409948693  
Redundancy:0.12380311801026134

Наступним кроком рахуємо ті ж значення для 4 можливих випадків біграм (повні результати збережено в репозиторії):

З перетином та пробілами

	—	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	й	к	л
—	0	0,0027502	0,0065652	0,0147706	0,0047948	0,0069837	0,0031306	0,0014776	0,0058978	0,0110617	0,0000212	0,0077897	0,0026441
а	0,0151213	0,0000042	0,0005274	0,0029793	0,0012867	0,0028478	0,0009657	0,0011057	0,0033950	0,0001626	0,0007338	0,0037089	0,0091952
б	0,0003322	0,0006787	0,0009657	0,0000226	0,0000042	0,0000155	0,0021040	0,0000141	0	0,0024405	0	0,0001046	0,0006971
в	0,0052431	0,0047680	0,0000084	0,0000650	0,0000155	0,0004779	0,0054453	0	0,0003747	0,0023698	0	0,0001442	0,0006461
г	0,0009134	0,0011326	0,0000056	0,0000070	0	0,0009926	0,0002064	0	0,0000014	0,0009290	0	0,0001032	0,0018085
д	0,0015356	0,0056135	0,0000268	0,0008073	0,0000480	0,0000551	0,0041444	0,0000353	0,0000240	0,0022737	0	0,0002361	0,0005076
е	0,0173795	0,0000551	0,0012485	0,0018127	0,0027771	0,0027064	0,0008879	0,0007282	0,0012174	0,0001244	0,0015610	0,0009445	0,0049490
ж	0,0003775	0,0009516	0,0000424	0	0,0000226	0,0007112	0,0026767	0,0000141	0	0,0013998	0	0,0001145	0,0000084
з	0,0015129	0,0057648	0,0001357	0,0010053	0,0003492	0,0010972	0,0007041	0,0000593	0,0000127	0,0002983	0	0,0001965	0,0004397
и	0,0204846	0,0000509	0,0005486	0,0018339	0,0006504	0,0013970	0,0015568	0,0001908	0,0020361	0,0004114	0,0011057	0,0022864	0,0061000
й	0,0069781	0,0000127	0,0000098	0,0000014	0,0000127	0,0002347	0,0000056	0	0	0	0	0,0001117	0,0000226
к	0,0041119	0,0059147	0	0,0000989	0	0	0,0003662	0,0000070	0,0000070	0,0029595	0	0,0000098	0,0008271
л	0,0081404	0,0042858	0,0000325	0,0000551	0,0002036	0,0001216	0,0038984	0,0001456	0,0000805	0,0084232	0	0,0004878	0,0001696
м	0,0084430	0,0021747	0,0000975	0,0000028	0,0001428	0	0,0033568	0	0,0000028	0,0027064	0	0,0001611	0,0003676
н	0,0039606	0,0097142	0,0000183	0,0000127	0,0001046	0,0012768	0,0096039	0,0000311	0,0000212	0,0078576	0	0,0002884	0,0000028
о	0,0228601	0,0000028	0,0042547	0,0054424	0,0044060	0,0063064	0,0016515	0,0017646	0,0012810	0,0006928	0,0032903	0,0021634	0,0058454
п	0,0000678	0,0014903	0	0	0	0	0,0022312	0	0	0,0011382	0	0,0001032	0,0008045
р	0,0012089	0,0078547	0,0002318	0,0003209	0,0001315	0,0003732	0,0058242	0,0002205	0,0000537	0,0041854	0	0,0004949	0,0002813
с	0,0027064	0,0015186	0,0000424	0,0013136	0,0000707	0,0001583	0,0033200	0,0000169	0,0000141	0,0013447	0	0,0036283	0,0027417
т	0,0052897	0,0050593	0,0000424	0,0018905	0,0000141	0,0001597	0,0043395	0,0000014	0,0000098	0,0030924	0	0,0004892	0,0002432
у	0,0059501	0	0,0005429	0,0005712	0,0011297	0,0019074	0,0001597	0,0013107	0,0003520	0,0001541	0,0001682	0,0005500	0,0018028
ф	0,0005882	0,0001866	0	0	0	0	0,0000565	0	0	0,0001371	0	0	0,0000197
х	0,0037414	0,0003817	0	0,0002234	0	0	0,0000311	0	0	0,0001951	0	0	0,0002262

Без перетину та пробілів

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	й
а	0,0002979	0,0012732	0,0052283	0,0023601	0,0041277	0,0015407	0,0014323	0,0047779	0,0015068	0,0009278
б	0,0008262	0,0011784	0,0000372	0,0000067	0,0000270	0,0025125	0,0000135	0,0000101	0,0029866	0
в	0,0056007	0,0002031	0,0002844	0,0002979	0,0008838	0,0065624	0,0000440	0,0006806	0,0032372	0
г	0,0013578	0,0000237	0,0001015	0,0000169	0,0012021	0,0002336	0,0000067	0,0000541	0,0011479	0
д	0,0066302	0,0000778	0,0011377	0,0001422	0,0001219	0,0049303	0,0000474	0,0001286	0,0027766	0,0000033
е	0,0003216	0,0023669	0,0041514	0,0037824	0,0041447	0,0013138	0,0011479	0,0025261	0,0014357	0,0019030
ж	0,0011377	0,0000711	0,0000304	0,0000440	0,0008939	0,0031356	0,0000237	0,0000135	0,0018183	0
з	0,0068435	0,0002201	0,0012461	0,0004537	0,0014425	0,0008533	0,0000609	0,0001354	0,0003894	0
и	0,0003623	0,0015644	0,0047847	0,0014154	0,0027699	0,0023872	0,0003555	0,0034166	0,0018014	0,0013138
й	0,0001320	0,0002708	0,0007381	0,0003284	0,0007652	0,0000880	0,0000914	0,0002810	0,0006332	0
к	0,0071381	0,0002708	0,0004740	0,0000880	0,0002133	0,0005214	0,0001015	0,0002336	0,0038975	0
л	0,0053840	0,0004774	0,0008465	0,0008939	0,0003724	0,0050928	0,0002031	0,0002844	0,0105920	0
м	0,0027360	0,0004943	0,0008804	0,0004368	0,0005587	0,0042395	0,0000778	0,0003183	0,0039144	0
н	0,0116756	0,0002844	0,0004740	0,0002438	0,0017709	0,0115706	0,0000880	0,0002065	0,0099080	0
о	0,0003216	0,0063152	0,0093696	0,0058716	0,0086280	0,0024482	0,0024008	0,0025565	0,0025057	0,0038907
п	0,0018421	0	0,0000101	0,0000033	0	0,0025701	0	0,0000033	0,0013646	0
р	0,0096202	0,0003352	0,0004977	0,0001760	0,0004740	0,0071245	0,0003047	0,0001117	0,0049608	0
с	0,0018691	0,0001828	0,0019403	0,0002167	0,0003183	0,0040431	0,0000643	0,0001117	0,0017811	0
т	0,0063051	0,0002675	0,0027868	0,0001896	0,0004740	0,0055025	0,0001049	0,0002167	0,0042463	0
у	0,0001794	0,0009108	0,0011208	0,0015237	0,0025125	0,0002505	0,0015610	0,0005553	0,0008838	0,0001997
ф	0,0002505	0,0000101	0,0000778	0,0000135	0,0000237	0,0000711	0,0000033	0,0000169	0,0002234	0
х	0,0004977	0,0001930	0,0006399	0,0001489	0,0002234	0,0000778	0,0000372	0,0001828	0,0005959	0
ц	0,0008668	0,0000169	0,0001388	0,0000033	0,0000169	0,0005654	0	0,0000169	0,0000948	0
ч	0,0021739	0,0000067	0,0000203	0	0,0000067	0,0037790	0	0	0,0017439	0
ш	0,0010666	0,0000033	0,0000372	0,0000033	0,0000067	0,0022213	0	0,0000067	0,0018014	0
щ	0,0004368	0	0,0000101	0	0	0,0014526	0	0	0,0007754	0
ы	0,0001083	0,0004232	0,0016490	0,0002844	0,0003081	0,0020215	0,0001049	0,0002912	0,0005180	0,0020588

З перетином та без пробілів:

	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	й
а	0,0002810	0,0012444	0,0051368	0,0021637	0,0041785	0,0015779	0,0014492	0,0047203	0,0014746	0,0008838
б	0,0008228	0,0011614	0,0000457	0,0000135	0,0000237	0,0025278	0,0000203	0,0000118	0,0029612	0
в	0,0058022	0,0002251	0,0002675	0,0002996	0,0008770	0,0066132	0,0000406	0,0006484	0,0031068	0,0000016
г	0,0013697	0,0000321	0,0001185	0,0000135	0,0012664	0,0002607	0,0000033	0,0000457	0,0012054	0
д	0,0067825	0,0000795	0,0011208	0,0001286	0,0001337	0,0049828	0,0000474	0,0001286	0,0028528	0,0000016
е	0,0003233	0,0024634	0,0040431	0,0038196	0,0041007	0,0013341	0,0011580	0,0024516	0,0014459	0,0018708
ж	0,0011394	0,0000711	0,0000423	0,0000389	0,0008685	0,0032185	0,0000169	0,0000084	0,0016998	0
з	0,0069214	0,0002048	0,0013206	0,0004859	0,0014103	0,0008702	0,0000795	0,0001235	0,0004114	0
и	0,0004181	0,0015813	0,0047119	0,0014696	0,0027055	0,0023584	0,0003860	0,0033845	0,0018471	0,0013290
й	0,0001523	0,0002742	0,0006975	0,0003047	0,0007178	0,0000863	0,0000846	0,0002455	0,0006518	0
к	0,0071635	0,0002929	0,0005519	0,0000998	0,0002167	0,0004977	0,0000965	0,0001964	0,0038518	0
л	0,0053299	0,0004977	0,0008042	0,0008838	0,0003860	0,0050623	0,0002048	0,0002844	0,0107359	0
м	0,0028054	0,0005045	0,0009498	0,0004452	0,0004893	0,0041582	0,0000846	0,0003318	0,0040058	0
н	0,0117484	0,0002776	0,0004402	0,0002268	0,0017117	0,0115808	0,0000744	0,0002048	0,0097709	0
о	0,0003064	0,0063135	0,0091461	0,0058310	0,0085975	0,0025041	0,0024533	0,0025650	0,0024279	0,0039449
п	0,0017845	0,0000016	0,0000067	0,0000033	0,0000016	0,0026751	0	0,0000033	0,0013714	0
р	0,0094407	0,0003301	0,0005028	0,0001845	0,0004910	0,0070026	0,0002708	0,0001083	0,0051301	0
с	0,0018658	0,0001896	0,0018708	0,0002201	0,0003335	0,0040346	0,0000643	0,0000982	0,0017439	0
т	0,0062153	0,0002895	0,0028190	0,0001947	0,0004452	0,0053620	0,0000948	0,0002031	0,0042141	0
у	0,0002014	0,0009227	0,0012444	0,0014984	0,0025769	0,0002624	0,0016406	0,0005908	0,0008076	0,0002014
ф	0,0002421	0,0000084	0,0000694	0,0000084	0,0000203	0,0000812	0,0000016	0,0000169	0,0002251	0
х	0,0005231	0,0001879	0,0006620	0,0001743	0,0002150	0,0000795	0,0000321	0,0001794	0,0005654	0
ц	0,0008516	0,0000152	0,0001303	0,0000084	0,0000253	0,0006433	0	0,0000101	0,0000931	0
ч	0,0021553	0,0000084	0,0000203	0,0000016	0,0000033	0,0037891	0	0	0,0017151	0
ш	0,0010598	0,0000050	0,0000321	0,0000033	0,0000050	0,0020892	0	0,0000033	0,0017557	0
щ	0,0004317	0	0,0000067	0	0,0000016	0,0014306	0,0000016	0	0,0007483	0
ы	0,0000948	0,0004385	0,0015830	0,0002827	0,0003047	0,0021180	0,0000761	0,0002912	0,0005434	0,0021079

Без перетину та з пробілами:

	–	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	й
–	0	0,0028647	0,0064959	0,0147112	0,0047680	0,0070643	0,0031560	0,0014564	0,0060406	0,0110348	0,0000169
а	0,0147848	0,0000028	0,0005316	0,0030344	0,0013998	0,0027601	0,0010095	0,0011509	0,0032889	0,0001668	0,0007381
б	0,0002912	0,0006193	0,0009191	0,0000197	0	0,0000141	0,0021153	0,0000084	0	0,0024999	0
в	0,0052516	0,0048669	0,0000113	0,0000650	0,0000169	0,0005062	0,0054552	0	0,0003761	0,0024038	0
г	0,0009077	0,0011707	0,0000056	0,0000028	0	0,0010067	0,0002007	0	0,0000028	0,0009558	0
д	0,0014903	0,0056616	0,0000367	0,0007635	0,0000537	0,0000707	0,0041402	0,0000424	0,0000311	0,0024066	0
е	0,0175053	0,0000509	0,0012641	0,0017505	0,0027799	0,0027686	0,0008908	0,0007550	0,0011990	0,0001357	0,0014818
ж	0,0003478	0,0009077	0,0000509	0	0,0000226	0,0006617	0,0026526	0,0000141	0	0,0013828	0
з	0,0015101	0,0056842	0,0001357	0,0009926	0,0003563	0,0010831	0,0006815	0,0000678	0,0000113	0,0003167	0
и	0,0205794	0,0000480	0,0005458	0,0017759	0,0006843	0,0013376	0,0014111	0,0001640	0,0020757	0,0004044	0,0010293
й	0,0071294	0,0000141	0,0000141	0,0000028	0,0000169	0,0002516	0,0000056	0	0	0	0
к	0,0041628	0,0058935	0	0,0001102	0	0	0,0004128	0,0000056	0,0000113	0,0030316	0
л	0,0081050	0,0042985	0,0000367	0,0000593	0,0001866	0,0001385	0,0038008	0,0001498	0,0000820	0,0084020	0
м	0,0084585	0,0022256	0,0000989	0	0,0001385	0	0,0032748	0	0,0000056	0,0026611	0
н	0,0039478	0,0095954	0,0000169	0,0000197	0,0001074	0,0012782	0,0095218	0,0000282	0,0000226	0,0079269	0
о	0,0228022	0,0000056	0,0043918	0,0054297	0,0043692	0,0062781	0,0016770	0,0017816	0,0013461	0,0007041	0,0032550
п	0,0000593	0,0015129	0	0	0	0	0,0021803	0	0	0,0011170	0
р	0,0012358	0,0078562	0,0002460	0,0003280	0,0001385	0,0003280	0,0057861	0,0002177	0,0000565	0,0043127	0
с	0,0027346	0,0015554	0,0000424	0,0013800	0,0000707	0,0001442	0,0034134	0,0000197	0,0000113	0,0012952	0
т	0,0053392	0,0049914	0,0000480	0,0018636	0,0000169	0,0001583	0,0041769	0	0,0000028	0,0029354	0
у	0,0058313	0	0,0005514	0,0005344	0,0011340	0,0018523	0,0001498	0,0013404	0,0003252	0,0001555	0,0001187
ф	0,0005429	0,0001979	0	0	0	0	0,0000707	0	0	0,0001470	0
х	0,0036424	0,0004213	0	0,0002403	0	0	0,0000452	0	0	0,0001781	0
ц	0,0003195	0,0006363	0	0,0000904	0	0	0,0005571	0	0	0,0000424	0
ч	0,0000876	0,0017872	0	0,0000113	0	0	0,0032126	0	0	0,0014479	0
ш	0,0000622	0,0008370	0	0,0000197	0	0	0,0018184	0	0	0,0014281	0
щ	0,0000537	0,0003167	0	0	0	0	0,0011934	0	0	0,0006221	0
ы	0,0049235	0	0,0002234	0,0008144	0,0001159	0,0000509	0,0016600	0,0000169	0,0000593	0,0000056	0,0017986

## Ентропія для біграм та надлишковість

```

Bigram entropy ( without intersection with spaces): 3.976958387342564
Bigram redundancy:0.2046083225314872
Bigram entropy ( without intersection without spaces): 4.1563698389408525
Bigram redundancy:0.16104054451239935
Bigram entropy ( with intersection with spaces): 3.9771460295440533
Bigram redundancy:0.2045707940911894
Bigram entropy ( with intersection without spaces): 4.157481800042511
Bigram redundancy:0.16081609617971482

```

Далі обрахуємо  $H(10)$ ,  $H(20)$ ,  $H(30)$  за допомогою CoolPinkProgmar:

**Лабораторная работа №1**

---

Произвольная часть текста:  
**m\_возвращ**

Использованные буквы:

---

Порядок n-граммы: <input type="radio"/> 5 символов <input checked="" type="radio"/> 10 символов <input type="radio"/> 15 символов <input type="radio"/> 20 символов <input type="radio"/> 25 символов <input type="radio"/> 30 символов <input type="radio"/> 35 символов <input type="radio"/> 40 символов <input type="radio"/> 45 символов <input type="radio"/> 50 символов	Введенный символ: _____ Символ по счету: _____ Номер эксперимента: <b>51</b> Поле ввода символов: _____ <div> <span>Продолжить</span> <span>Другой</span> </div>	Неравенство для энтропии: <b>1,79798704105672 &lt; H &lt; 2,41382862903118</b> Двоичная таблица угаданных символов: <pre> 1000000000000000000000000000000000 1000000000000000000000000000000000   1000000000000000000000000000000000 1000000000000000000000000000000000 1000000000000000000000000000000000 1000000000000000000000000000000000 ~~~~~~</pre>	Вероятности: <pre> q[1] = 0,54 q[2] = 0,04 q[3] = 0,1 q[4] = 0,12 q[5] = 0,02 q[6] = 0 q[7] = 0,02 q[8] = 0,02 q[9] = 0,02 q[10] = 0 q[11] = 0 q[12] = 0 q[13] = 0 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] = 0,02 q[23] = 0,04 q[24] = 0 q[25] = 0,02 q[26] = 0,04 q[27] = 0 q[28] = 0 q[29] = 0 q[30] = 0 q[31] = 0 q[32] = 0 </pre>
---	--	---	--

Строка состояния:

---

$$1,797987041 < H_{10} < 2,41382862$$

Лабораторная работа №1

Произвольная часть текста:  
м\_так\_и\_существо\_по

Использованные буквы:

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

Введенный символ:

Символ по счету:

Номер эксперимента: 51

Поле ввода символов:

Продолжить Другой

Неравенство для энтропии:  
 $1,82045515209551 < H < 2,52318724951839$

Двоичная таблица угаданных символов:

10000000000000000000000000000000
10000000000000000000000000000000
10000000000000000000000000000000
01000000000000000000000000000000
10000000000000000000000000000000

Вероятности:

q[1] = 0,54
q[2] = 0,14
q[3] = 0,04
q[4] = 0,02
q[5] = 0,04
q[6] = 0
q[7] = 0
q[8] = 0
q[9] = 0
q[10] = 0
q[11] = 0,02
q[12] = 0,04
q[13] = 0
q[14] = 0,02
q[15] = 0
q[16] = 0,02
q[17] = 0
q[18] = 0
q[19] = 0,02
q[20] = 0
q[21] = 0,02
q[22] = 0,02
q[23] = 0
q[24] = 0,04
q[25] = 0
q[26] = 0
q[27] = 0
q[28] = 0
q[29] = 0
q[30] = 0
q[31] = 0,02
q[32] = 0

Строка состояния:

$$1,8204551520 < H_{20} < 2,52318724$$

Лабораторная работа №1

Произвольная часть текста:  
ивыми\_и\_несправедливыми\_догов

Использованные буквы:

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

Введенный символ:

Символ по счету:

Номер эксперимента: 51

Поле ввода символов:

Продолжить Другой

Неравенство для энтропии:  
 $1,5135381199829 < H < 2,17112946255746$

Двоичная таблица угаданных символов:

10000000000000000000000000000000
10000000000000000000000000000000
10000000000000000000000000000000
10000000000000000000000000000000
10000000000000000000000000000000

Вероятности:

q[1] = 0,58
q[2] = 0,16
q[3] = 0,04
q[4] = 0,06
q[5] = 0
q[6] = 0
q[7] = 0,02
q[8] = 0
q[9] = 0
q[10] = 0
q[11] = 0
q[12] = 0
q[13] = 0
q[14] = 0
q[15] = 0,02
q[16] = 0,04
q[17] = 0
q[18] = 0
q[19] = 0
q[20] = 0
q[21] = 0,02
q[22] = 0
q[23] = 0
q[24] = 0
q[25] = 0,02
q[26] = 0,02
q[27] = 0
q[28] = 0,02
q[29] = 0
q[30] = 0
q[31] = 0
q[32] = 0

Строка состояния:

$$1,51353811 < H_{30} < 2,17112946$$

Останнім кроком обрахуємо надлишковість рос мови за формулою

$$R = 1 - \frac{H_{\infty}}{H_0}$$

H(10):

$$R1 = 1 - \frac{1,797987041}{5} = 0,6404025918$$

$$R2 = 1 - \frac{2,41382862}{5} = 0,517234276$$

H(20):

$$R1 = 1 - \frac{1,8204551520}{5} = 0,6359089696$$

$$R2 = 1 - \frac{2,52318724}{5} = 0,495362552$$

H(30):

$$R1 = 1 - \frac{1,51353811}{5} = 0,697292378$$

$$R2 = 1 - \frac{2,17112946}{5} = 0,565774108$$

### **Висновки:**

Практично змогли порахувати ентропію на символ джерела та надлишковість. Також засвоїли поняття частот монограм та біграм, та знайшли їх на практиці.

За допомогою наведеної програми CoolPinkProgram змогли також обрахувати значення H10, H20, H30.