

## EFFECT OF MAGNETIC FIELD ON THE PLASMA CHEMICAL PROCESS OF COMBUSTION OF LIQUID COMPOSITE BIOFUELS

*D. Strebkov, Y. Kozhevnikov, Y. Egorov, Y. Schekochikhin, V. Nikolaev*

*Annotation. In the article the question of the optimal location of plasma microwave emitters in the combustion chamber for burning composite biofuels is considered. The are physical processes of interaction of plasma particles with an external magnetic field. Taking into account based on the above solutions for designing the plasma torch are proposed*

*Key words: magnetic field, the plasma chemical reactions toroidal core geometry, Willarso circle, burner design, power generator*

УДК 621.383

## ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ АТМОСФЕРНОЙ МАССЫ НА СПЕКТРАЛЬНУЮ ИНТЕНСИВНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*Б. А. Никитин, В. А. Майоров, кандидаты технических наук  
В. В. Харченко, доктор технический наук  
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
электрификации сельского хозяйства», г. Москва, Россия  
e-mail: [kharval@mail.ru](mailto:kharval@mail.ru)*

*Аннотация. Проведен анализ влияния величины атмосферной массы на пути солнечных лучей до приемной поверхности на спектральные характеристики солнечного излучения в условиях рассмотрения атмосферного слоя AM-1,5 в качестве светофильтра, обладающего соответствующими коэффициентами пропускания для соответствующих длин волны.*

*Ключевые слова: солнечная радиация, атмосферная масса, коэффициент пропускания, стандартное солнечное излучение, спектральный состав*

Аттестацию солнечных элементов и солнечных батарей согласно директивным указаниям Международной Энергетической Комиссии (МЭК) следует проводить в условиях их освещённости на уровне стандартного солнечного излучения AM-1,5 (1000 Вт/м<sup>2</sup>). Спектральный состав этого излучения изложен в работе [1].

Измерение эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую энергию фотопреобразователя проводят обычно с помощью искусственных источников света, имеющих тот или иной коэффициент степени соответствия и мощности спектральному составу, оговорённому выше солнечному излучению АМ. Зачастую прибегают и к измерениям параметров фотоэлектрических преобразователей в натуральных условиях (светит яркое солнце, на небе безоблачно или малооблачно). И в этом случае натурное солнечное излучение (т.е. реальная атмосферная масса) будет отличаться по мощности и спектральному составу от утверждённого стандартного излучения АМ-1,5.

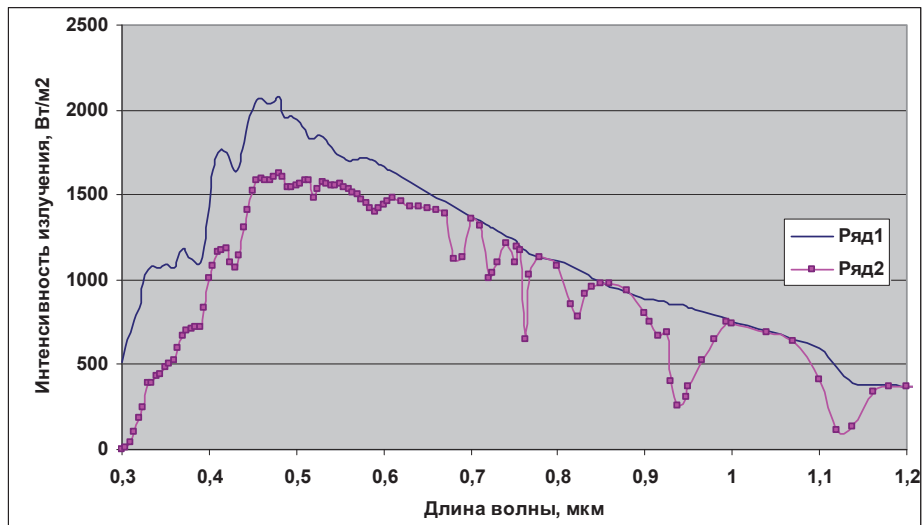
Величина атмосферной массы на пути солнечных лучей будет изменяться в зависимости от углов высоты солнечного диска относительно горизонта, т.е. от широты местности, даты, года и времени суток. В связи с этим актуальной задачей становятся определение связи величины атмосферной массы на пути солнечного излучения с его спектральной интенсивностью в границах поглощения полупроводникового материала фотопреобразователя.

Максимальная величина атмосферной массы для наземного солнечного излучения определяется условием нахождения солнечного диска на горизонте. В работе [2] эта величина определена в размере АМ-36, т.е. в 36 раз больше, чем для солнца, находящегося в зените. В работе [3] эта же величина оценена в 8 раз больше, чем АМ-1. В работе [4] представлен в виде табличных значений полный спектр заатмосферного, т.е. космического вблизи земной атмосферы солнечного излучения.

**Цель исследований** – решение поставленной выше задачи при представлении атмосферного слоя, соответствующего АМ-1,5, как светофильтра, обладающего соответствующими коэффициентами пропускания для соответствующих длин волны.

**Результаты исследований.** На рис. 1 графически представлены зависимость спектральных интенсивностей солнечных излучений АМ- 0 и АМ-1,5 с учётом границ поглощения кремния.

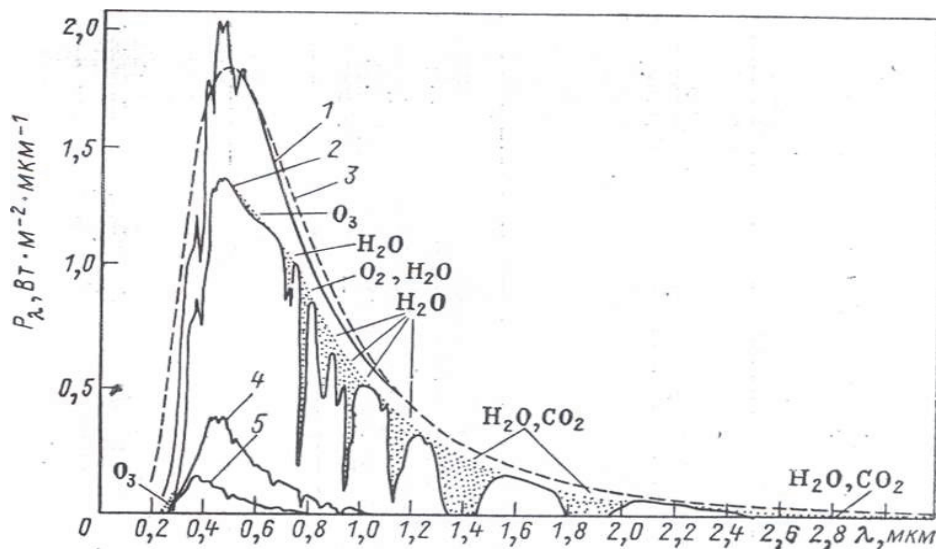
Из анализа рис.1 можно сделать вывод, что спектральные интенсивности стандартного солнечного излучения при АМ-1,5 ниже, чем для АМ -0 вблизи коротких длин волн (до 0,7 мкм), а в области длин волн более 0,7 мкм наблюдается практически паритет. В этой же области следует отметить наличие отдельных провалов спектра АМ-1,5 относительно АМ-0, которые объясняются поглощением определенных участков длин волн солнечного излучения молекулами водяного пара и углекислого газа.



**Рис. 1. Спектральная интенсивность солнечного излучения в зависимости от длины волны:**

ряд 1 -- AM- 0, заатмосферное солнечное излучение;  
 ряд 2 -- AM- 1,5, наземное стандартное солнечное излучение

Это обстоятельство можно объяснить появлением Фраунгоферовых линий поглощения фотонов атмосферой Земли, содержащей в заметном количестве пары воды и углекислого газа ( рис. 2 ) [4].



**Рис. 2. Спектральное распределение энергии солнечного излучения:**

1 – солнечное излучение за пределами атмосферы; 2 – солнечное излучение на уровне моря; 3 – излучение черного тела при 5900 К; 4 – рассеянный поток (дымка); 5 – рассеянный поток (ясное небо)

С целью числовой оценки спектрального коэффициента пропускания атмосферного слоя АМ-1.5 относительно заатмосферного солнечного излучения АМ-0 были сопоставлены значения интенсивностей этих излучений согласно литературным справочным данным [1, 4]. Результаты сопоставления приведены в табл. 1.

### 1. Результаты сопоставление стандартных спектров солнечного излучения АМ-0 и АМ-1.5 (Вт/м<sup>2</sup> мкм)

А	В	С	Д	Е	Ф	А	В	С	Д	Е	Ф
λ, мкм	АМ-0	АМ-1,5	Клпр	Клпр	АМ-1,5	λ, мкм	АМ-0	АМ-1,5	Клпр	Клпр	АМ-1,5
расч.	справ.	справ.	справ.	расч.	расч.	расч.	справ.	справ.	справ.	расч.	расч.
0,3	514	0	0,000	0	0	0,53	1842	1572,4	0,854	0,897	1652,9
0,305	603	9,5	0,016	0,064	38,6	0,535	1818	1560	0,858	0,901	1638,3
0,31	689	42,3	0,061	0,123	84,7	0,54	1783	1550,7	0,870	0,905	1613,2
0,315	764	107,8	0,141	0,177	135,5	0,545	1754	1555	0,887	0,908	1593
0,32	830	181	0,218	0,228	188,8	0,55	1725	1561,5	0,905	0,911	1572,3
0,325	975	246,8	0,253	0,274	267,1	0,555	1720	1545	0,898	0,915	1573,2
0,33	1059	395,3	0,373	0,317	335,7	0,56	1695	1530	0,903	0,918	1555,4
0,335	1081	390,1	0,361	0,357	385,8	0,565	1705	1515	0,889	0,921	1569,5
0,34	1074	435,3	0,405	0,394	423	0,57	1712	1501,5	0,877	0,923	1580,6
0,345	1069	438,9	0,411	0,428	457,8	0,575	1719	1475	0,858	0,926	1591,6
0,35	1093	483,7	0,443	0,46	503	0,58	1715	1450	0,845	0,928	1592,2
0,355	1083	500	0,462	0,49	530,7	0,585	1712	1420	0,829	0,931	1593,6
0,36	1068	520,3	0,487	0,518	553	0,59	1700	1395,5	0,821	0,933	1586,4
0,365	1132	600	0,530	0,544	615,4	0,595	1682	1420	0,844	0,935	1573,3
0,37	1181	666,2	0,564	0,568	670,6	0,6	1666	1445	0,867	0,938	1561,9
0,375	1157	695	0,601	0,59	683,1	0,605	1647	1465	0,889	0,94	1547,4
0,38	1120	712,5	0,636	0,612	684,9	0,61	1635	1485,3	0,908	0,941	1539,4
0,385	1098	716	0,652	0,631	693,2	0,62	1602	1460	0,911	0,945	1514,2
0,39	1098	720,7	0,656	0,65	713,6	0,63	1570	1434,7	0,914	0,949	1489,3
0,395	1189	830	0,698	0,667	793,4	0,64	1544	1425	0,923	0,952	1469,5
0,4	1429	1013,1	0,709	0,684	976,9	0,65	1511	1419,9	0,940	0,955	1442,4
0,405	1644	1085	0,660	0,699	1149	0,66	1486	1409	0,948	0,957	1422,6
0,41	1751	1158,2	0,661	0,713	1249,1	0,67	1456	1392,3	0,956	0,96	1397,5
0,415	1774	1175	0,662	0,727	1289,6	0,68	1427	1120	0,785	0,962	1372,9
0,42	1747	1184	0,678	0,74	1292,2	0,69	1402	1130	0,806	0,964	1351,9
0,425	1693	1100	0,650	0,752	1272,7	0,7	1369	1353	0,988	0,966	1322,8
0,43	1639	1071,9	0,654	0,763	1250,7	0,71	1344	1316,7	0,980	0,968	1301,2
0,435	1663	1140	0,686	0,774	1286,8	0,72	1314	1010,3	0,769	0,97	1274,4
0,44	1810	1302	0,719	0,784	1418,8	0,724	1302	1043,2	0,801	0,971	1263,6
0,445	1922	1410	0,734	0,793	1525	0,73	1290	1100	0,853	0,971	1253,2
0,45	2006	1526	0,761	0,802	1609,8	0,74	1260	1211,2	0,961	0,973	1226
0,455	2057	1580	0,768	0,811	1668,2	0,75	1235	1104	0,894	0,974	1203,4
0,46	2066	1599,6	0,774	0,819	1692,2	0,753	1213,7	1193,9	0,984	0,975	1183,1
0,465	2048	1588	0,775	0,827	1693,2	0,758	1192,3	1175,5	0,986	0,975	1163,1
0,47	2033	1581	0,778	0,834	1695,5	0,763	1171	643,1	0,549	0,976	1143
0,475	2044	1600	0,783	0,841	1718,8	0,768	1149,7	1030,7	0,896	0,977	1122,9
0,48	2074	1628,3	0,785	0,847	1757,5	0,78	1128,3	1131,1	1,002	0,978	1103,6
0,485	1976	1600	0,810	0,854	1686,7	0,8	1107	1081,6	0,977	0,98	1085,1
0,49	1950	1539,2	0,789	0,859	1676	0,816	1083,2	849,2	0,784	0,982	1063,4
0,495	1960	1540	0,786	0,865	1695,6	0,824	1059,4	785	0,741	0,982	1040,8
0,5	1942	1548,7	0,797	0,87	1690,3	0,832	1035,6	916,4	0,885	0,983	1018,1
0,505	1920	1560	0,813	0,875	1680,9	0,84	1011,8	960	0,949	0,984	995,3
0,51	1882	1586,5	0,843	0,88	1656,7	0,85	988	980	0,992	0,984	972,7

0,515	1833	1585	0,865	0,885	1621,9	0,86	955	978,9	1,025	0,985	940,9
0,52	1833	1484,9	0,810	0,889	1629,9	0,88	922	933,2	1,012	0,986	909,5
0,525	1852	1530	0,826	0,893	1654,5	0,9	889	800	0,900	0,988	878
						0,905	881,3	748,5	0,849	0,988	870,6
λ, мкм	AM-0	AM-1,5	Клпр	Клпр	AM-1,5	λ, мкм	AM-0	AM-1,5	Клпр	Клпр	AM-1,5
	справ.	справ.	справ.	расч.	расч.		справ.	справ.	справ.	расч.	расч.
0,915	873,6	667,5	0,764	0,988	863,5	1,96	114,5	21,2	0,185	0,999	114,4
0,925	865,9	690,3	0,797	0,989	856,3	1,985	108,8	91,1	0,837	0,999	108,7
0,93	858,1	403,6	0,470	0,989	848,9	2	103	55	0,534	0,999	102,9
0,937	850,4	258,3	0,304	0,989	841,5	2,005	99,8	26,8	0,269	0,999	99,7
0,948	842,7	313,6	0,372	0,990	834,3	2,035	96,5	99,5	1,031	1	96,5
0,95	835	370	0,443	0,990	826,7	2,065	93,3	60,4	0,647	1	93,2
0,965	812,8	526,8	0,648	0,991	805,2	2,1	90	89,1	0,990	1	90
0,98	790,5	646,4	0,818	0,991	783,6	2,148	86,3	82,2	0,952	1	86,3
0,994	768,3	746,8	0,972	0,992	761,9	2,198	82,7	71,5	0,865	1	82,6
1	746	740	0,992	0,992	740,0	2,2	79	70,8	0,896	1	79
1,04	694,7	690,5	0,994	0,993	689,9	2,27	73,5	70,2	0,955	1	73,5
1,07	643,3	637,5	0,991	0,994	639,4	2,3	68	66	0,971	1	68
1,1	592	412,6	0,697	0,994	588,7	2,36	66	62	0,939	1	66
1,12	484	108,9	0,225	0,995	481,5	2,4	64	40	0,625	1	64
1,137	390	132,2	0,339	0,995	388,1	2,45	60,7	21,2	0,349	1	60,7
1,161	384	339	0,883	0,996	382,3	2,494	57,3	18,5	0,323	1	57,3
1,18	378	375	0,992	0,996	376,4	2,5	54	10,0	0,185	1	54
1,2	372	369	0,992	0,996	370,5	2,537	51	3,2	0,063	1	51
1,235	366	364	0,993	0,997	364,7	2,6	48	3,4	0,071	1	48
1,29	360	358	0,994	0,997	358,9	2,7	43	3,6	0,084	1	43
1,3	396	189,1	0,478	0,997	394,9	2,8	39	3,9	0,100	1	39
1,32	354	250,2	0,707	0,997	353,1	2,9	35	4,2	0,120	1	35
1,35	348	32,5	0,093	0,998	347,2	2,941	33,7	4,4	0,131	1	33,7
1,395	342	1,6	0,005	0,998	341,3	2,973	32,3	7,6	0,235	1	32,3
1,4	336	20	0,060	0,998	335,3	3	31	7,0	0,226	1	31
1,443	326,2	55,7	0,171	0,998	325,6	3,005	29,3	6,5	0,222	1	29,3
1,463	316,4	105,1	0,332	0,998	315,8	3,056	27,7	3,2	0,116	1	27,7
1,477	306,6	105,5	0,344	0,998	306,1	3,1	26	4,2	0,162	1	26
1,497	296,8	182,1	0,614	0,998	296,3	3,132	24,9	5,4	0,217	1	24,9
1,5	287	220	0,767	0,998	286,5	3,156	23,7	0,158	0,007	1	23,7
1,52	262,6	262,6	1,000	0,998	262,2	3,2	22,6	0,16	0,007	1	22,6
1,539	274,2	274,2	1,000	0,999	273,8	3,204	21,5	0,163	0,008	1	21,5
1,558	275	275	1,000	0,999	274,6	3,245	20,3	0,154	0,008	1	20,3
1,578	244,6	244,6	1,000	0,999	244,3	3,3	19,2	0,154	0,008	1	19,2
1,592	247,4	247,4	1,000	0,999	247,1	3,317	18,3	0,155	0,008	1	18,3
1,6	244	235	0,963	0,999	243,7	3,344	17,5	0,159	0,009	1	17,5
1,61	235,6	228,7	0,971	0,999	235,3	3,4	16,6	0,155	0,009	1	16,6
1,63	227,2	227	0,998	0,999	226,9	3,45	15,6	0,148	0,009	1	15,6
1,646	218,8	218	0,998	0,999	218,6	3,5	14,6	0,155	0,011	1	14,6
1,678	210,4	210	0,998	0,999	210,2	3,573	14,1	0,157	0,011	1	14
1,7	202	195	0,965	0,999	201,8	3,6	13,5	0,156	0,012	1	13,5
1,74	180,5	171,5	0,950	0,999	180,3	3,7	12,3	0,155	0,013	1	12,3
1,8	159	30,7	0,193	0,999	158,9	3,765	11,7	0,155	0,013	1	11,7
1,86	142,5	2	0,014	0,999	142,4	3,8	11,1	0,155	0,014	1	11,1
1,9	126	1,5	0,012	0,999	125,9	3,9	10,3	0,155	0,015	1	10,3
1,92	120,3	1,2	0,010	0,999	120,2	4	9,5	0,155	0,016	1	9,5
						4,045	9,1	0,156	0,017	1	9,1

Спектральный коэффициент пропускания атмосферной массы АМ-1.5 определялся отношением интенсивности солнечного излучения АМ-1.5 для данной длины волны к соответствующей интенсивности заатмосферного солнечного излучения АМ-0. Результаты расчета спектрального коэффициента пропускания приведены в столбце D табл. 1.

На рис. 3 представлена графически зависимость коэффициента пропускания атмосферы от длины волны, полученная путём сопоставления справочных и расчетных данных по солнечным излучениям АМ-0 и АМ-1.5.

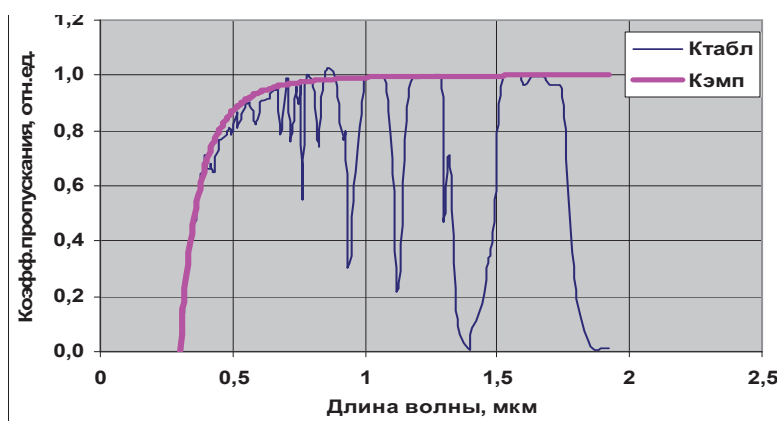


Рис. 3. Зависимость коэффициента пропускания атмосферы от длины волны

Как следует из анализа представленной зависимости, огибающая кривая (если не учитывать некоторые провалы, обусловленные Фраунгоферовыми поглощениями молекул  $H_2O$  и  $CO_2$  в земной атмосфере) имеет плавный характер. Эмпирическое выражение, достаточно хорошо соответствующее этой плавной кривой, имеет вид

$$K_{\lambda \text{ проп}} = 1 - (\lambda_0/\lambda_i)^4, \quad (1)$$

где  $\lambda_i$  — текущая длина волны спектра АМ-1.5;  $\lambda_0 = 0.3$  мкм — минимальное значение длины волны спектра АМ-1.5, при котором спектральная интенсивность практически равна нулю.

В столбце E табл. 1 приведены расчётные данные согласно выражению (1) коэффициентов пропускания слоя атмосферной массы АМ-1.5.

В столбце F табл. 1 приведены расчетные значения спектральной интенсивности солнечного излучения АМ-1.5 с учётом того, что наблюдаемые на рис. 1 провалы за счёт поглощения излучения молекулами  $H_2O$  и  $CO_2$  аппроксимированы полным поглощением в узких полосах спектра.

В связи с тем, что с увеличением атмосферной массы спектральные коэффициенты пропускания будут уменьшаться в степенной зависимости, относительно рассматриваемой выше базовой величины АМ-1.5, представляется возможным оценить спектральные интенсивности солнечного излучения для любой заданной величины атмосферной массы.

В общем виде спектральный коэффициент пропускания для данной атмосферной массы определяется выражением:

$$K_{\lambda \text{ проп}} = [1 - (\lambda_0/\lambda_i)^4]^{AM-i/AM-1,5} \quad (2)$$

где AM-i - заданная величина атмосферной массы, AM-1,5 – опорная величина атмосферной массы.

В табл. 2 приведены значения степени коэффициентов пропускания для величин атмосферных масс, кратных AM-1.5, вплоть до максимальных значений AM-36, рассмотренных ранее.

**2. Показатели степени n спектрального коэффициента пропускания  $K_{\lambda n} = [1 - (\lambda_0/\lambda_i)^4]^n$ , где  $d=4$  для различных величин атмосферных масс**

	AM-0	AM-1,5	AM-3	AM-4,5	AM-6	AM-7,5	AM-9	AM-10,5	AM-12	AM-13,5	AM-15	AM-16,5	AM-18
n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Табл. знач.	*	*	*		*		*		*				
	AM-19,5	AM-21	AM-22,5	AM-24	AM-25,5	AM-27	AM-28,5	AM-30	AM-31,5	AM-33	AM-34,5	AM-36	
n	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Табл. знач.				*								*	

В табл. 3 представлены расчетные значения спектральных интенсивностей солнечного излучения для различных величин атмосферных масс, обозначенных звездочкой \* в табл. 2, в том числе и для AM-1 с учётом рассеянной компоненты солнечного излучения, которая имеет место в спектре AM-1.5.

**3. Расчетные значения спектральных интенсивностей (Вт/м<sup>2</sup> мкм) для различных величин атмосферных масс**

$\lambda$ мкм	AM-0		AM-1,5		AM-3		AM-6		AM-9		AM-12		AM-24		AM-36		AM-1	
	$K_{\lambda}^{n=0}$ A	$K_{\lambda}^{n=1}$ B	$K_{\lambda}^{n=1}$ C	$K_{\lambda}^{n=2}$ D	$K_{\lambda}^{n=4}$ E	$K_{\lambda}^{n=6}$ F	$K_{\lambda}^{n=8}$ G	$K_{\lambda}^{n=16}$ H	$K_{\lambda}^{n=24}$ I	$K_{\lambda}^{n=36}$ K	$K_{\lambda}^{n=36}$ L	$K_{\lambda}^{n=2/3}$ L						
0,300	514,0	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0,0000						
0,305	603,0	0,064	0,004	1,7E-05	6,9E-08	2,8E-10	7,9E-20	2,2E-29	1,1E-43	0,1600								
0,310	689,0	0,123	0,015	0,0002	3,5E-06	5,2E-08	2,7E-15	1,4E-22	1,7E-33	0,2473								
0,315	764,0	0,177	0,031	0,0010	3,1E-05	9,6E-07	9,3E-13	8,9E-19	8,5E-28	0,3152								
0,320	830,0	0,228	0,052	0,0027	0,0001	7,3E-06	5,3E-11	3,9E-16	7,7E-24	0,3732								
0,325	975,0	0,274	0,075	0,0056	0,0004	3,2E-05	1,0E-09	3,2E-14	5,7E-21	0,4219								
0,330	1059,0	0,317	0,100	0,0101	0,0010	1,0E-04	1,0E-08	1,1E-12	1,1E-18	0,4649								
0,335	1081,0	0,357	0,127	0,0162	0,0021	2,6E-04	7,0E-08	1,8E-11	7,9E-17	0,5032								
0,340	1074,0	0,394	0,155	0,0241	0,0037	5,8E-04	3,4E-07	2,0E-10	2,7E-15	0,5374								
0,345	1069,0	0,428	0,183	0,0336	0,0061	1,1E-03	1,3E-06	1,4E-09	5,4E-14	0,5679								
0,350	1093,0	0,460	0,212	0,0448	0,0095	2,0E-03	4,0E-06	8,1E-09	2,2E-13	0,5959								
0,355	1083,0	0,490	0,240	0,0576	0,0138	3,3E-03	1,1E-05	3,7E-08	7,0E-12	0,6215								
0,360	1068,0	0,518	0,268	0,0720	0,0193	5,2E-03	2,7E-05	1,4E-07	5,2E-11	0,6450								

0,365	1132,0	0,544	0,296	0,0876	0,0259	7,7E-03	5,9E-05	4,5E-07	3,0E-10	0,6664	
0,370	1181,0	0,568	0,323	0,1041	0,0336	1,1E-02	1,2E-04	1,3E-06	1,4E-09	0,6859	
0,375	1157,0	0,590	0,348	0,1212	0,0422	1,5E-02	2,2E-04	3,2E-06	5,6E-09	0,7035	
0,380	1120,0	0,612	0,375	0,1403	0,0525	2,0E-02	3,9E-04	7,6E-06	2,1E-08	0,7208	
0,385	1098,0	0,631	0,398	0,1585	0,0631	2,5E-02	6,3E-04	1,6E-05	6,3E-08	0,7357	
0,390	1098,0	0,650	0,423	0,1785	0,0754	3,2E-02	1,0E-03	3,2E-05	1,8E-07	0,7504	
0,395	1189,0	0,667	0,445	0,1979	0,0881	3,9E-02	1,5E-03	6,0E-05	4,7E-07	0,7634	
0,400	1429,0	0,684	0,468	0,2189	0,1024	4,8E-02	2,3E-03	1,1E-04	1,2E-06	0,7763	
0,405	1644,0	0,699	0,489	0,2387	0,1166	5,7E-02	3,2E-03	1,9E-04	2,5E-06	0,7876	
0,410	1751,0	0,713	0,508	0,2584	0,1314	6,7E-02	4,5E-03	3,0E-04	5,1E-06	0,7981	
0,415	1774,0	0,727	0,529	0,2793	0,1476	7,8E-02	6,1E-03	4,8E-04	1,0E-05	0,8085	
0,420	1747,0	0,740	0,548	0,2999	0,1642	9,0E-02	8,1E-03	7,3E-04	2,0E-05	0,8181	
0,425	1693,0	0,752	0,566	0,3198	0,1808	1,0E-01	1,0E-02	1,1E-03	3,5E-05	0,8269	
0,430	1639,0	0,763	0,582	0,3389	0,1973	1,1E-01	1,3E-02	1,5E-03	5,9E-05	0,8350	
0,435	1663,0	0,774	0,599	0,3589	0,2150	1,3E-01	1,7E-02	2,1E-03	9,9E-05	0,8430	
0,440	1810,0	0,784	0,615	0,3778	0,2322	1,4E-01	2,0E-02	2,9E-03	0,00016	0,8502	
0,445	1922,0	0,793	0,629	0,3955	0,2487	1,6E-01	2,4E-02	3,8E-03	0,00024	0,8567	
0,450	2006,0	0,802	0,643	0,4137	0,2661	1,7E-01	2,9E-02	5,0E-03	0,00036	0,8632	
0,455	2057,0	0,811	0,658	0,4326	0,2845	1,9E-01	3,5E-02	6,6E-03	0,00053	0,8697	
0,460	2066,0	0,819	0,671	0,4499	0,3018	2,0E-01	4,1E-02	8,3E-03	0,00076	0,8754	
0,465	2048,0	0,827	0,684	0,4678	0,3199	2,2E-01	4,8E-02	1,0E-02	0,00107	0,8811	
0,470	2033,0	0,834	0,696	0,4838	0,3365	2,3E-01	5,5E-02	1,3E-02	0,00145	0,8860	
0,475	2044,0	0,841	0,707	0,5002	0,3538	2,5E-01	6,3E-02	1,6E-02	0,00196	0,8910	
0,480	2074,0	0,847	0,717	0,5147	0,3692	2,6E-01	7,0E-02	1,9E-02	0,00253	0,8952	
0,485	1976,0	0,854	0,729	0,5319	0,3879	2,8E-01	8,0E-02	2,3E-02	0,00341	0,9001	
0,490	1950,0	0,859	0,738	0,5445	0,4018	3,0E-01	8,8E-02	2,6E-02	0,00420	0,9036	
0,495	1960,0	0,865	0,748	0,5598	0,4189	3,1E-01	9,8E-02	3,1E-02	0,00540	0,9078	
0,500	1942,0	0,870	0,757	0,5729	0,4336	3,3E-01	1,1E-01	3,5E-02	0,00665	0,9113	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	
0,505	1920,0	0,875	0,766	0,5862	0,4488	3,4E-01	1,2E-01	4,1E-02	0,00817	0,9148	
0,510	1882,0	0,88	0,774	0,5997	0,4644	3,6E-01	1,3E-01	4,7E-02	0,01003	0,9183	
0,515	1833,0	0,885	0,783	0,6134	0,4805	3,8E-01	1,4E-01	5,3E-02	0,01230	0,9218	
0,520	1833,0	0,889	0,790	0,6246	0,4936	3,9E-01	1,5E-01	5,9E-02	0,01447	0,9246	
0,525	1852,0	0,893	0,797	0,6359	0,5071	4,0E-01	1,6E-01	6,6E-02	0,01701	0,9273	
0,530	1842,0	0,897	0,805	0,6474	0,5209	4,2E-01	1,8E-01	7,4E-02	0,01998	0,9301	
0,535	1818,0	0,901	0,812	0,6590	0,5350	4,3E-01	1,9E-01	8,2E-02	0,02345	0,9329	
0,540	1783,0	0,905	0,819	0,6708	0,5494	4,5E-01	2,0E-01	9,1E-02	0,02750	0,9356	
0,545	1754,0	0,908	0,824	0,6797	0,5604	4,6E-01	2,1E-01	9,9E-02	0,03098	0,9377	
0,550	1725,0	0,911	0,830	0,6888	0,5716	4,7E-01	2,3E-01	1,1E-01	0,03489	0,9397	
0,555	1720,0	0,915	0,837	0,7009	0,5868	4,9E-01	2,4E-01	1,2E-01	0,04085	0,9425	
0,560	1695,0	0,918	0,843	0,7102	0,5985	5,0E-01	2,5E-01	1,3E-01	0,04596	0,9446	
0,565	1705,0	0,921	0,848	0,7195	0,6103	5,2E-01	2,7E-01	1,4E-01	0,05168	0,9466	
0,570	1712,0	0,923	0,852	0,7258	0,6183	5,3E-01	2,8E-01	1,5E-01	0,05588	0,9480	
0,575	1719,0	0,926	0,857	0,7353	0,6305	5,4E-01	2,9E-01	1,6E-01	0,06281	0,9500	
0,580	1715,0	0,928	0,861	0,7416	0,6387	5,5E-01	3,0E-01	1,7E-01	0,06788	0,9514	
0,585	1712,0	0,931	0,867	0,7513	0,6512	5,6E-01	3,2E-01	1,8E-01	0,07624	0,9535	
0,590	1700,0	0,933	0,870	0,7578	0,6596	5,7E-01	3,3E-01	1,9E-01	0,08236	0,9548	
0,595	1682,0	0,935	0,874	0,7643	0,6681	5,8E-01	3,4E-01	2,0E-01	0,08896	0,9562	
0,600	1666,0	0,938	0,880	0,7741	0,6811	6,0E-01	3,6E-01	2,2E-01	0,09984	0,9582	
0,605	1647,0	0,940	0,884	0,7807	0,6899	6,1E-01	3,7E-01	2,3E-01	0,10780	0,9596	
0,610	1635,0	0,941	0,885	0,7841	0,6943	6,1E-01	3,8E-01	2,3E-01	0,11200	0,9603	
0,620	1602,0	0,945	0,893	0,7975	0,7122	6,4E-01	4,0E-01	2,6E-01	0,13048	0,9630	
0,630	1570,0	0,949	0,901	0,8111	0,7305	6,6E-01	4,3E-01	2,8E-01	0,15191	0,9657	
0,640	1544,0	0,952	0,906	0,8214	0,7444	6,7E-01	4,6E-01	3,1E-01	0,17019	0,9677	
0,650	1511,0	0,955	0,912	0,8318	0,7586	6,9E-01	4,8E-01	3,3E-01	0,19060	0,9698	
0,660	1486,0	0,957	0,916	0,8388	0,7682	7,0E-01	4,9E-01	3,5E-01	0,20551	0,9711	
0,670	1456,0	0,960	0,922	0,8493	0,7828	7,2E-01	5,2E-01	3,8E-01	0,23002	0,9732	
0,680	1427,0	0,962	0,925	0,8564	0,7926	7,3E-01	5,4E-01	3,9E-01	0,24791	0,9745	
0,690	1402,0	0,964	0,929	0,8636	0,8025	7,5E-01	5,6E-01	4,1E-01	0,26716	0,9759	
0,700	1369,0	0,966	0,933	0,8708	0,8126	7,6E-01	5,7E-01	4,4E-01	0,28786	0,9772	



0,710	1344,0	0,968	0,937	0,8780	0,8227	7,7E-015,9E-014,6E-010,31011						0,9786
0,720	1314,0	0,970	0,941	0,8853	0,8330	7,8E-016,1E-014,8E-010,33403						0,9799
0,724	1302,0	0,971	0,943	0,8889	0,8381	7,9E-016,2E-014,9E-010,34665						0,9806
0,730	1290,0	0,971	0,943	0,8889	0,8381	7,9E-016,2E-014,9E-010,34665						0,9806
0,740	1260,0	0,973	0,947	0,8963	0,8485	8,0E-016,5E-015,2E-010,37330						0,9819
0,750	1235,0	0,974	0,949	0,9000	0,8538	8,1E-016,6E-015,3E-010,38737						0,9826
0,753	1213,7	0,975	0,951	0,9037	0,8591	8,2E-016,7E-015,4E-010,40194						0,9833
0,758	1192,3	0,975	0,951	0,9037	0,8591	8,2E-016,7E-015,4E-010,40194						0,9833
0,763	1171,0	0,976	0,953	0,9074	0,8644	8,2E-016,8E-015,6E-010,41706						0,9839
0,768	1149,7	0,977	0,955	0,9111	0,8697	8,3E-016,9E-015,7E-010,43272						0,9846
0,780	1128,3	0,978	0,956	0,9149	0,8751	8,4E-017,0E-015,9E-010,44895						0,9853
0,800	1107,0	0,980	0,960	0,9224	0,8858	8,5E-017,2E-016,2E-010,48321						0,9866
0,816	1083,2	0,982	0,964	0,9299	0,8967	8,6E-017,5E-016,5E-010,52001						0,9880
0,824	1059,4	0,982	0,964	0,9299	0,8967	8,6E-017,5E-016,5E-010,52001						0,9880
0,832	1035,6	0,983	0,966	0,9337	0,9022	8,7E-017,6E-016,6E-010,53942						0,9886
0,840	1011,8	0,984	0,968	0,9375	0,9078	8,8E-017,7E-016,8E-010,55953						0,9893
0,850	988,00	0,984	0,968	0,9375	0,9078	8,8E-017,7E-016,8E-010,55953						0,9893
0,860	955,00	0,985	0,970	0,9413	0,9133	8,9E-017,9E-017,0E-010,58037						0,9900
0,880	922,00	0,986	0,972	0,9452	0,9189	8,9E-018,0E-017,1E-010,60196						0,9906
0,900	889,00	0,988	0,976	0,9529	0,9301	9,1E-018,2E-017,5E-010,64752						0,9920
0,905	881,30	0,988	0,976	0,9529	0,9301	9,1E-018,2E-017,5E-010,64752						0,9920
0,915	873,60	0,988	0,976	0,9529	0,9301	9,1E-018,2E-017,5E-010,64752						0,9920
0,925	865,90	0,989	0,978	0,9567	0,9358	9,2E-018,4E-017,7E-010,67153						0,9927
0,930	858,10	0,989	0,978	0,9567	0,9358	9,2E-018,4E-017,7E-010,67153						0,9927
0,937	850,40	0,989	0,978	0,9567	0,9358	9,2E-018,4E-017,7E-010,67153						0,9927
0,948	842,70	0,990	0,980	0,9606	0,9415	9,2E-018,5E-017,9E-010,69641						0,9933
0,950	835,00	0,990	0,980	0,9606	0,9415	9,2E-018,5E-017,9E-010,69641						0,9933
0,965	812,80	0,991	0,982	0,9645	0,9472	9,3E-018,7E-018,0E-010,72219						0,9940
0,980	790,50	0,991	0,982	0,9645	0,9472	9,3E-018,7E-018,0E-010,72219						0,9940
0,994	768,30	0,992	0,984	0,9684	0,9529	9,4E-018,8E-018,2E-010,74889						0,9947

A B C D E F G H I K L

1,000	746,00	0,992	0,984	0,9684	0,9529	9,4E-018,8E-018,2E-010,74889						0,9947
1,040	694,70	0,993	0,986	0,9723	0,9587	9,5E-018,9E-018,4E-010,77656						0,9953
1,070	643,30	0,994	0,988	0,9762	0,9645	9,5E-019,1E-018,7E-010,80521						0,9960
1,100	592,00	0,994	0,988	0,9762	0,9645	9,5E-019,1E-018,7E-010,80521						0,9960
1,120	484,00	0,995	0,990	0,9801	0,9704	9,6E-019,2E-018,9E-010,83489						0,9967
1,137	390,00	0,995	0,990	0,9801	0,9704	9,6E-019,2E-018,9E-010,83489						0,9967
1,161	384,00	0,996	0,992	0,9841	0,9762	9,7E-019,4E-019,1E-010,86564						0,9973
1,180	378,00	0,996	0,992	0,9841	0,9762	9,7E-019,4E-019,1E-010,86564						0,9973
1,200	372,00	0,996	0,992	0,9841	0,9762	9,7E-019,4E-019,1E-010,86564						0,9973
1,235	366,00	0,997	0,994	0,9881	0,9821	9,8E-019,5E-019,3E-010,89748						0,9980
1,290	360,00	0,997	0,994	0,9881	0,9821	9,8E-019,5E-019,3E-010,89748						0,9980
1,300	396,00	0,997	0,994	0,9881	0,9821	9,8E-019,5E-019,3E-010,89748						0,9980
1,320	354,00	0,997	0,994	0,9881	0,9821	9,8E-019,5E-019,3E-010,89748						0,9980
1,350	348,00	0,998	0,996	0,9920	0,9881	9,8E-019,7E-019,5E-010,93046						0,9987
1,395	342,00	0,998	0,996	0,9920	0,9881	9,8E-019,7E-019,5E-010,93046						0,9987
1,400	336,00	0,998	0,996	0,9920	0,9881	9,8E-019,7E-019,5E-010,93046						0,9987
1,443	326,20	0,998	0,996	0,9920	0,9881	9,8E-019,7E-019,5E-010,93046						0,9987
1,463	316,40	0,998	0,996	0,9920	0,9881	9,8E-019,7E-019,5E-010,93046						0,9987
1,477	306,60	0,998	0,996	0,9920	0,9881	9,8E-019,7E-019,5E-010,93046						0,9987
1,497	296,80	0,998	0,996	0,9920	0,9881	9,8E-019,7E-019,5E-010,93046						0,9987
1,500	287,00	0,998	0,996	0,9920	0,9881	9,8E-019,7E-019,5E-010,93046						0,9987
1,520	262,60	0,998	0,996	0,9920	0,9881	9,8E-019,7E-019,5E-010,93046						0,9987
1,539	274,20	0,999	0,998	0,9960	0,9940	9,9E-019,8E-019,8E-010,96462						0,9993
1,558	275,00	0,999	0,998	0,9960	0,9940	9,9E-019,8E-019,8E-010,96462						0,9993
1,578	244,60	0,999	0,998	0,9960	0,9940	9,9E-019,8E-019,8E-010,96462						0,9993
1,592	247,40	0,999	0,998	0,9960	0,9940	9,9E-019,8E-019,8E-010,96462						0,9993
1,600	244,00	0,999	0,998	0,9960	0,9940	9,9E-019,8E-019,8E-010,96462						0,9993
1,610	235,60	0,999	0,998	0,9960	0,9940	9,9E-019,8E-019,8E-010,96462						0,9993

1,630	227,20	0,999	0,998	0,9960	0,9940	9,9E-01	9,8E-01	9,8E-01	0,96462	0,9993	
1,646	218,80	0,999	0,998	0,9960	0,9940	9,9E-01	9,8E-01	9,8E-01	0,96462	0,9993	
1,678	210,40	0,999	0,998	0,9960	0,9940	9,9E-01	9,8E-01	9,8E-01	0,96462	0,9993	
1,700	202,00	0,999	0,998	0,9960	0,9940	9,9E-01	9,8E-01	9,8E-01	0,96462	0,9993	
1,740	180,50	0,999	0,998	0,9960	0,9940	9,9E-01	9,8E-01	9,8E-01	0,96462	0,9993	
1,800	159,00	0,999	0,998	0,9960	0,9940	9,9E-01	9,8E-01	9,8E-01	0,96462	0,9993	
1,860	142,50	0,999	0,998	0,9960	0,9940	9,9E-01	9,8E-01	9,8E-01	0,96462	0,9993	
1,900	126,00	0,999	0,998	0,9960	0,9940	9,9E-01	9,8E-01	9,8E-01	0,96462	0,9993	
1,920	120,30	0,999	0,998	0,9960	0,9940	9,9E-01	9,8E-01	9,8E-01	0,96462	0,9993	
1,960	114,50	0,999	0,998	0,9960	0,9940	9,9E-01	9,8E-01	9,8E-01	0,96462	0,9993	
1,985	108,80	0,999	0,998	0,9960	0,9940	9,9E-01	9,8E-01	9,8E-01	0,96462	0,9993	
2,000	103,00	0,999	0,998	0,9960	0,9940	9,9E-01	9,8E-01	9,8E-01	0,96462	0,9993	
2,005	99,80	0,999	0,998	0,9960	0,9940	9,9E-01	9,8E-01	9,8E-01	0,96462	0,9993	
2,035	96,50	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
2,065	93,30	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
2,100	90,00	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
2,148	86,30	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
2,198	82,70	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
2,200	79,00	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
2,270	73,50	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
2,300	68,00	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
2,360	66,00	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
2,400	64,00	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
2,450	60,70	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
2,494	57,30	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
2,500	54,00	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
2,537	51,00	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
2,600	48,00	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
2,700	43,00	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
2,800	39,00	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
2,900	35,00	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
2,941	33,70	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
2,973	32,30	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L
3,000	31,00	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,005	29,30	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,056	27,70	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,100	26,00	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,132	24,90	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,156	23,70	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,200	22,60	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,204	21,50	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,245	20,30	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,300	19,20	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,317	18,30	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,344	17,50	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,400	16,60	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,450	15,60	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,500	14,60	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,573	14,10	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,600	13,50	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,700	12,30	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,765	11,70	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,800	11,10	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
3,900	10,30	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
4,000	9,50	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	
4,045	9,10	1,000	1,000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,00000	1,0000	



**Рис. 4. Характерные расчётные спектры для атмосферных масс AM-9 (средняя кривая) и AM-36 (нижняя кривая) на фоне заатмосферного спектра солнечного излучения AM-0 (верхняя кривая)**

Числовые значения угловых высот Солнца относительно горизонта для  $\alpha = 55,7^\circ$  (широта г. Москвы) с учётом даты года и времени суток можно определить согласно работе [5]. Величина атмосферной массы для лучей Солнца, находящегося под углом над горизонтом определится согласно работе [2].

На рис. 4 представлены спектры для атмосферных масс AM-9 и AM-36 на фоне заатмосферного спектра солнечного излучения AM-0, рассчитанные по данным таблицы 3. Как следует из анализа этого рисунка, оба эти спектра, характерные для нахождения Солнца вблизи горизонта, имеют заметный энергетический потенциал в границах поглощения полупроводникового материала – кремния.

**Выводы.** Приведенные результаты представляют интерес для практики при оценке параметров солнечных энергетических систем в разное время светового дня.

### Список литературы

1. Bird R.E., Huldstrom R.L., Lewls R.L. Terrestrial Solar Spectral, data Sets // Solar Energi. – 1983. – Vol. 30. – №6. – P. 563–573.
2. Никитин Б.А. Обобщенное уравнение величины атмосферной массы на пути лучей Солнца, падающих на поверхность земного шара под различными углами / Б.А. Никитин, В.А. Гусаров // Вестник ВИЭСХ. 2008. – Вып. 1(3). – Серия «Электротехнологии и энергетика сельского хозяйства». – С. 82–87.
3. Безруких П.П. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / П.П. Безруких. – С-Пб.: Наука, 2002. –С. 19–20.
4. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / Г. Раушенбах. –М.: Энергоатомиздат, 1983. – С. 268–271.
5. Никитин Б.А. К вопросу расчетов угловой высоты солнечного диска относительно горизонта для выбранной местности с учетом даты года и времени

суток / Б.А. Никитин, В.А. Гусаров, В.В. Харченко, В.А. Майоров, А.Т. Беленов // Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве: Труды 9-й Международной научно-техн. конф. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2014. – Ч. 4. – С. 172–180.

## **ВПЛИВ ВЕЛИЧИНИ АТМОСФЕРНОЇ МАСИ НА СПЕКТРАЛЬНІ ІНТЕНСИВНОСТІ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

***Б.А. Нікітін, В.А. Майоров, В.В. Харченко***

*Анотація. Проведено аналіз впливу величини атмосферної маси на шляху сонячних променів до приймальної поверхні на спектральні характеристики сонячного випромінювання в умовах розгляду атмосферного шару АМ-1,5 як світлофільтру, що володіє відповідними коефіцієнтами пропускання для відповідних довжин хвилі.*

***Ключові слова: сонячна радіація, атмосферна маса, коефіцієнт пропускання, стандартне сонячне випромінювання, спектральний склад***

## **EFFECT OF ATMOSPHERIC MASSES ON THE SPECTRAL INTENSITY OF SOLAR RADIATION**

***B. Nikitin, V. Mayorov, V. Kharchenko***

*Annotation. The effect of the atmospheric mass on the way to the sunlight receiving surface on the spectral characteristics of solar radiation in the atmospheric layer under consideration AM 1.5 as a filter having appropriate transmittance for the corresponding wavelength.*

***Keywords: solar radiation, atmospheric mass, transmittance, standard solar radiation, the spectral composition***