

V. M. Tereschenko

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty
(volter2307@mail.ru)

THE COMPARISON OF THE OBSERVED AND CALCULATED MAGNITUDES AND COLOR-INDEXES FOR O-B-STARS OF “SPECTROPHOTOMETRICAL CATALOGUE OF STARS”

Abstract. By comparison of the observed magnitudes with calculated from spectral energy distribution the analysis of reliability of data for 116 O-B-stars of the “Spectrophotometric Catalogue of Stars” was carried out. The calculations made in UB_V-system. Constants in equations were obtained on Vega. The analysis shows that system errors in bands B and V are absent, but in band U system errors present. In UV-region spectrophotometric data are more “blue” than photometric data. Only stars with small differences are able to be used as spectrophotometric standards.

Key words: O-B-stars, absolute spectrophotometry, photometry, calculated color-indexes

УДК 523.03, 523.27

В. М. Терещенко

Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова

СРАВНЕНИЕ НАБЛЮДАЕМЫХ И ВЫЧИСЛЕННЫХ ЗВЕЗДНЫХ ВЕЛИЧИН И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦВЕТА ДЛЯ О-В-ЗВЕЗД «СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОГО КАТАЛОГА ЗВЕЗД»

Аннотация. Путем сравнения непосредственно наблюдаемых и вычисленных из распределения энергии звездных величин выполнен анализ достоверности данных для 116 О-В-звезд «Спектрофотометрического каталога звезд». Вычисления сделаны в системе UB_V. Входящие в уравнения константы определены по Веге. Сравнение подтверждает отсутствие систематических ошибок в полосах В и V и наличие их в полосе U. В ультрафиолетовой области спектрофотометрические данные более голубые, чем фотометрические. Только звезды с небольшими невязками могут использоваться в качестве спектрофотометрических стандартов.

Ключевые слова: О-В-звезды, абсолютная спектрофотометрия, фотометрия, вычисленные колор-индексы.

Алма-Атинский «Спектрофотометрический каталог звезд» [1] продолжает оставаться самым массовым в мире среди аналогичных каталогов. Третье издание каталога насчитывает 1273 звезды разных спектральных классов и классов светимости. В каталоге представлены в основном яркие звезды, до 6^m и несколько десятков звезд 7^m-8^m. Приводимые в каталоге данные о внеатмосферном распределении энергии в спектрах звезд используются, в частности, для стандартизации спектрофотометрических измерений и калибровки приемно-регистрирующей аппаратуры. По этой причине исследование точности и надежности данных каталога не только желательно, но и необходимо. Особенно такой анализ важен для выявления систематических и грубых ошибок распределения энергии в спектрах звезд. Обычно они выявляются путем сравнения с аналогичными данными других авторов. К сожалению, только для половины звезд такие данные имеются. В связи с отсутствием спектрофотометрических данных для анализа их точности и достоверности («правильности») часто используется косвенный метод. Между собой сравниваются непосредственно наблюдаемые звездные величины и вычисленные из спектрального распределения энергии. Разности между ними (невязки) характеризуют внешнюю сходимость данных каталога. Таким способом можно выявить, в

частности, систематические ошибки в зависимости от звездной величины и показателей цвета. Путем сравнения вычисленных и непосредственно наблюдаемых показателей цвета были проанализированы данные второго издания спектрофотометрического каталога [2,3].

В этой работе мы исследуем сходимость спектрофотометрических и фотометрических данных для 116 звезд ранних спектральных классов O7-B5, содержащихся в третьем и четвертом изданиях нашего каталога. Звезды ранних спектральных классов удобны для стандартизации и калибровок аппаратуры в видимой области спектра. В их спектрах имеются протяженные участки, свободные от спектральных линий. Однако, из-за переменности блеска большинство исследуемых здесь звезд не пригодно для таких целей. Многие из них - спектрально двойные, эмиссионные, переменные типа β Сер, пекулярные. Приводимые в литературе фотометрические данные для одной и той же звезды обычно различаются на несколько сотых, а иногда различия достигают 0.1^m . Вместе с тем, среди исследованных звезд имеется несколько десятков, которые вполне удовлетворяют требованиям, предъявляемых к стандартам.

Сравнение выполнено в фотометрической системе UB ν . Данные о наблюдаемых звездных величинах (цветах) и показателях цвета взяты из базы астрономических данных SIMBAD [4].

Звездная величина в полосе V и показатели цвета U-B и B-V вычислены по формулам:

$$V = -2.5 \lg \sum E(\lambda) \times S_V(\lambda) \times \Delta\lambda + C_V; (1)$$

$$U-B = -2.5 \lg \left[\frac{\sum E(\lambda) \times S_U(\lambda) \times \Delta\lambda}{\sum E(\lambda) \times S_B(\lambda) \times \Delta\lambda} \right] + C_{U-B}; (2)$$

$$B-V = -2.5 \lg \left[\frac{\sum E(\lambda) \times S_B(\lambda) \times \Delta\lambda}{\sum E(\lambda) \times S_V(\lambda) \times \Delta\lambda} \right] + C_{B-V}; (3)$$

где $E(\lambda)$ - монохроматическая освещенность в длине волны λ ; S_U , S_B и S_V - кривые реакции фотометрических полос U, B и V; $\Delta\lambda$ - длина интервала усреднения кривых распределения энергии, шаг гистограммы.

Константы C зависят от нуля-пункта шкалы звездных величин и использованных физических единиц. Они одинаковы для всех звезд и определены по первичному спектрофотометрическому стандарту – Веге, для которой точно известны и распределение энергии и звездные величины.

Таблица 1 - Список звезд, их характеристики и невязки δV , $\delta(U-B)$ и $\delta(B-V)$

№	Название звезды	HD	V	B-V	Sp	δV	$\delta(U-B)$	$\delta(B-V)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	88 \square Peg	886	2.83 ^m	-0.19 ^m	B21V	-0.01 ^m	0.05	+0.02 ^m
2	-	1976	5.57	-0.11	B5 IV	0.09	0.00	-0.07
3	15 κ Cas	2905	4.16	0.14	B1 Ia	-0.04	0.01	0.04
4	29 ρ And	3369	4.36	-0.14	B5 V	0.04	0.06	-0.05
5	19 ξ Cas	3901	4.80	-0.11	B2 V	0.03	0.02	-0.01
6	22 \omicron Cas	4180	4.54	-0.07	B5 IIIe	-0.06	-0.01	-0.02
7	27 γ Cas	5394	2.47	-0.15	B0 I ν e	0.16	0.15	-0.07
8	γ Per	105I6	4.07	-0.1	B2 V e p	0.07	0.08	-0.02
9	45 ϵ Cas	114I5	3.38	-0.15	B3 III	-0.01	0.09	0.02
10	5 Per	13267	6.36	0.3	B5 Ia	0.04	0.04	-0.05
11	10 Per	14818	6.25	0.25	B2 Ia	0.06	0.11	-0.07
12	82 β Cet	16582	4.07	-0.21	B2 IV	0.05	0.06	0.00
13	53 Ari	19374	6.11	-0.12	B1.5 V	-0.04	0.10	0.04
14	-	20336	4.84	-0.11	B2.5 Ve	0.06	0.05	0.03
15	29 Per	20365	5.15	-0.07	B3 V	0.02	0.06	-0.03
16	31 Per	20418	5.03	-0.07	B5 V	0.05	0.10	-0.04
17	-	20809	5.29	-0.08	B5 V	0.12	0.06	0.00
18	-	21278	4.98	-0.09	B5 V	0.12	0.05	0.00
19	34 Per	21428	4.67	-0.10	B3 V	0.06	0.05	-0.04
20	39 β Per	22928	3.01	-0.13	B5 IIIe	0.03	0.06	-0.01

Продолжение таблицы								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
21	40 Per	22951	4.97	-0.05	B0.5 V	-0.13	-0.02	0.01
22	44 ζ Per	24398	2.85	0.08	B1 Ib	0.05	0.06	-0.04
23	35 Eri	25340	5.28	-0.13	B5 V	0.02	0.04	0.03
24	48 Per	25940	4.04	-0.03	B3 Ve	0.02	0.06	0.00
25	-	26356	5.57	-0.11	B5 V	0.05	0.11	0.00
26	49μ Tau	26912	4.29	-0.05	B3 IV	-0.03	0.11	0.03
27	53 Per	27396	4.85	-0.02	B4 IV	0.03	0.13	0.02
28	62 Tau	27778	6.36	0.17	B3 V	0.08	0.13	-0.05
29	43 ν Eri	29248	3.93	-0.21	B2 III	0.01	0.02	0.01
30	94 τ Tau	29763	4.28	-0.11	B3 V	0.04	0.07	0.02
31	9□ Cam	30614	4.29	-0.01	O9.5 Ia	-0.03	0.10	-0.05
32	3□ [□] Ori	30836	3.69	-0.17	B2 III+B3IV	0.05	0.05	0.01
33	8 □ [□] Ori	31237	3.72	-0.18	B3 III+B0V	0.05	0.05	0.02
34	10ν Aur	32630	3.17	-0.18	B3 V	0.00	0.01	-0.01
35	103 Tau	32990	5.50	0.06	B2 V	-0.01	0.05	0.03
36	105 Tau	32991	2.79	0.13	B2 Ve	-0.08	0.08	0.05
37	AE Aur	34078	5.96	0.20	O9.5 V	0.10	0.07	-0.05
38	20 τ Ori	34503	3.60	-0.11	B5 III	0.05	0.05	-0.02
39	20 ρ Aur	34759	5.23	-0.13	B3 V	0.05	0.07	0.02
40	6 λ Lep	34816	4.29	-0.24	B0.5 IV	-0.03	0.04	0.06
41	22 Ori	35039	4.73	-0.17	B2 IV-V	-0.05	0.08	0.01
42	28 η Ori	35411	3.36	-0.24	B1V+B2e	-0.01	0.08	-0.05
43	25ψ ¹ Ori	35439	4.95	-0.20	B1 Vpe	-0.02	0.07	-0.02
44	24 φ Ori	35468	1.64	-0.22	B2 III	0.01	0.03	0.00
45	113 Tau	35532	6.25	-0.08	B2 V	0.03	0.09	-0.02
46	115 Tau	35671	5.42	-0.09	B5 V	0.02	0.08	0.01
47	114 Tau	35708	4.88	-0.14	B3 V	0.00	0.12	0.02
48	30φ ² Ori	35715	4.59	-0.20	B2 IV	0.08	0.03	0.03
49	32 Ori	36267	4.20	-0.14	B5 V	0.04	0.03	0.01
50	25 χ Aur	36371	4.76	0.28	B5 Iab	-0.03	0.06	-0.03
51	34 δ Ori	36486	2.23	-0.18	O9.5 II	0.01	0.08	0.05
52	36 ν Ori	36512	4.62	-0.26	B0 V	0.05	0.14	-0.04
53	120 Tau	36576	5.69	-0.02	B2 IV-Ve	0.18	0.10	-0.02
54	121 Tau	36819	5.38	-0.09	B2.5 IV	-0.03	0.07	0.03
55	37φ ¹ Ori	36822	4.41	-0.16	B0 III	0.10	0.04	0.00
56	39 λ Or i	36861/2	3.39	-0.19	O8III+B0.5V	0.01	-0.25	0.01
57	44 ι Ori	37043	2.77	-0.21	O9 III	-0.03	0.06	0.03
58	46 ε Ori	37128	1.70	-0.18	B0 Ia	0.06	0.05	-0.01
59	123 ζ Tau	37202	3.00	-0.15	B4 IIIpe	0.03	0.16	0.09
60	125 Tau	37438	5.18	-0.15	B3 IV	-0.03	0.06	0.03

<i>Продолжение таблицы</i>								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
61	48 σ Ori	37468	3.81	-0.19	O9.5 V	0.05	0.07	0.06
62	47 ω Ori	37490	4.57	-0.10	B3 IIIe	0.12	0.11	0.00
63	126 Tau	37711	4.86	-0.13	B3 IV	0.00	0.07	0.01
64	50 ζ Ori	37742/3	1.77	-0.20	O9.7Ib+BOIII	0.06	-0.16	0.02
65	53 κ Ori	38771	2.06	-0.17	B0.5 Ia	-0.02	0.06	0.03
66	3 Mon	40967	4.95	-0.13	B3 III	-0.02	0.07	0.01
67	62 χ^2 Ori	41117	4.36	0.24	B2 Ia	-0.20	0.08	-0.01
68	67 v Ori	41753	4.42	-0.16	B3 V	0.05	0.08	0.03
69	11 β Mon	45725/7	3.92	-0.10	B3Ve+B3+B3	0.09	0.02	0.11
70	-	45995	6.14	-0.12	B2 Vp	0.02	0.20	-0.06
71	20t CMa	51309	4.37	-0.06	B3 II	-0.11	0.12	0.03
72	19 Mon	52918	4.99	-0.20	BI V	0.02	0.03	0.02
73	7 η Hya	74280	4.30	-0.19	B3 V	-0.02	0.07	0.01
74	38 κ Hya	83754	5.06	-0.15	B5 V	-0.09	0.09	0.00
75	47 ρ Leo	91316	3.85	-0.15	B1 Ib	-0.06	0.07	0.04
76	67 α Vir	116658	0.98	-0.23	B1 IV+B2V	-0.04	-0.04	-0.02
77	13 ζ Oph	149757	2.56	0.04	O9.5 V	-0.04	0.08	0.01
78	96 Her	164852	5.28	-0.10	B3 IV	0.07	0.08	-0.03
79	102 Her	166182	4.36	-0.16	B2 IV	0.02	0.08	-0.02
80	20 Aql	179406	5.34	0.09	B3 V	-0.02	0.05	-0.07
81	20 η Lyr	18163	4.39	-0.15	B2.5 IV	0.06	0.00	-0.04
82	1 Vul	180554	4.77	-0.06	B4 IV	0.02	0.03	-0.03
83	2 Cyg	182568	4.97	-0.12	B3 IV	-0.03	0.04	-0.01
84	8 Cyg	18471	4.74	-0.15	B3 IV	0.04	0.02	-0.03
85	9 Sge	188001	6.23	-0.03	O7.5 Iaf	-0.03	0.06	-0.07
86	-	188209	5.62	-0.08	O9.5 Ia	0.03	0.07	-0.01
87	23 Cyg	188665	5.14	-0.13	B5 V	-0.03	0.05	-0.01
88	-	190603	5.64	0.76	B1.5 Ia	0.09	0.13	0.21
89	17 Vul	190993	5.07	-0.16	B3 V	-0.05	0.07	0.01
90	28 Cyg	191610	4.93	-0.14	B3 V	-0.02	0.07	-0.01
91	34 P Cyg	139237	4.81	0.38	B2pe	0.10	0.08	-0.05
92	-	193322	5.84	0.07	O9 V	0.04	0.06	-0.04
93	45 ω^1 Cyg	195556	4.95	-0.09	B2.5 IV	0.01	0.05	-0.02
94	28 Vul	196740	5.04	-0.13	B5 IV	-0.02	0.02	0.00
95	54 λ Cyg	198183	4.53	-0.08	B5 Ve	0.06	0.02	0.01
96	55 Cyg	198478	4.84	0.57	B3 Ia	0.07	0.03	0.12
97	57 Cyg	199081	4.78	-0.13	B5 V	0.03	0.05	-0.03
98	-	199579	5.96	0.02	O6 V(f)	-0.03	0.05	-0.02
99	59 Cyg	200120	4.74	-0.08	B1e	0.19	0.12	-0.06
100	60 Cyg	200310	5.37	-0.21	B1 Ve	0.07	-0.31	-0.04
101	66 v Cyg	202904	4.43	-0.10	B2 Ve	0.20	0.05	-0.05

Продолжение таблицы								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
102	68 Cyg	203064	5.00	-0,06	O7.5 IIIIn(f)	-0.05	0.07	-0.04
103	6 Cep	203467	5.18	-0.04	B3 V	-0.03	0.13	-0.02
104	70 Cyg	204403	5.31	-0.14	B3 V	0.02	0.05	0.00
105	8 β Cep	205021	3.23	-0.20	B1 IV	-0.01	0.08	0.04
106	9 Cep	206165	4.73	0.25	B2 Ib	-0.09	0.06	-0.06
107	80π ¹ Cyg	206672	4.67	-0.12	B3 IV	-0.02	0.02	-0.04
108	81π ² Cyg	207330	4.23	-0.12	B3 III	-0.06	0.07	-0.02
109	16 Peg	208057	5.08	-0.16	B3 Ve	0.05	0.04	-0.05
110	14 Cep	209481	5.56	0.02	O9 V	0.04	0.13	-0.05
111	19 Cep	209975	5.11	0.24	O9.5 Ib	0.03	0.09	0.15
112	22 λ Cep	210839	5.04	0.19	O6 I(n)fp	0.00	0.07	-0.05
113	31 Peg	212076	5.01	-0.13	B2 IV-Ve	0.14	0.12	-0.05
114	52 π Aqr	212571	4.66	-0.17	B1 Ve	0.05	0.11	-0.20
115	-	215191	6.43	-0.12	B1 V	0.06	0.15	0.00
116	93ψ ² Aqr	219688	4.39	-0.14	B5 V	-0.01	0.07	-0.01

Распределение энергии и значение показателей цвета для нее приведены в нашем каталоге [1]. Кривые реакции фотометрических полос взяты согласно Страйжису [5], шаг гистограмм равен 5 нм.

Результаты вычислений приведены в таблице 1 и на рисунках 1-3.

В таблице приведены номера звезд в порядке возрастания прямых восхождений, номера по каталогу HD, спектральный класс и наблюдаемые величины V, а также невязки для V и для показателей цвета U-B и B-V. В нашем случае невязки - это разности между наблюдаемыми и вычисленными значениями соответствующих величин. На рисунках по осям отложены наблюдаемые (по оси X) и вычисленные (по оси Y) звездные величины и показатели цвета.

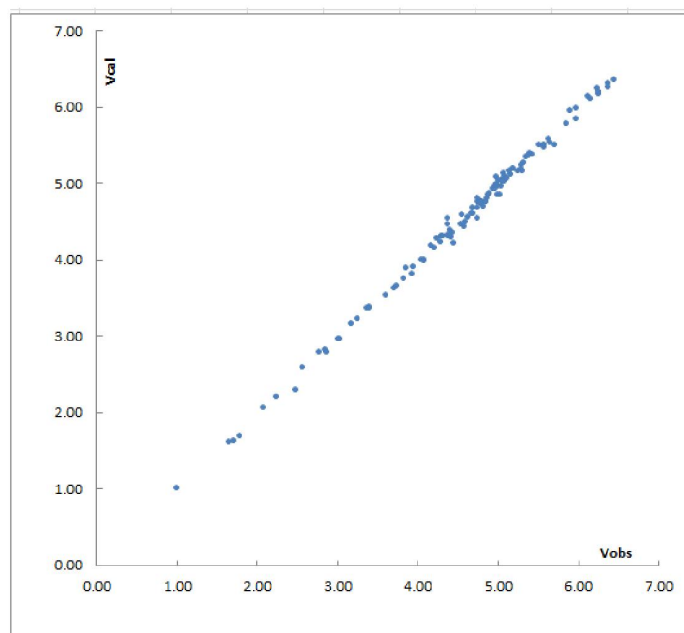


Рисунок 1 - Сравнение наблюдаемых и вычисленных величин V

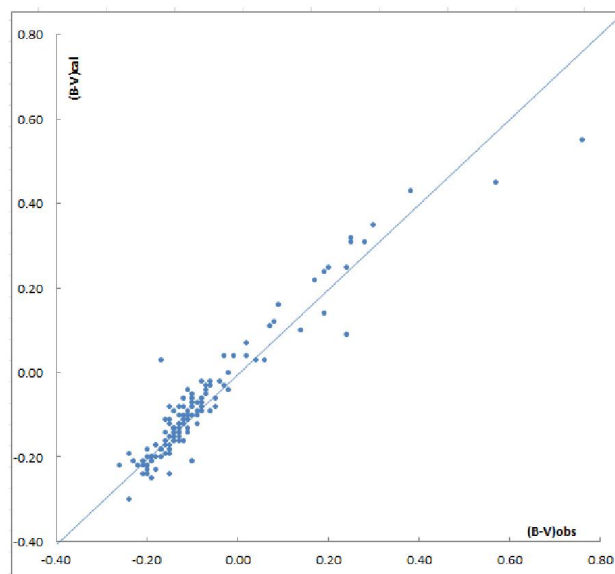


Рисунок 2 - Сравнение наблюдаемых и вычисленных показателей цвета (B-V)

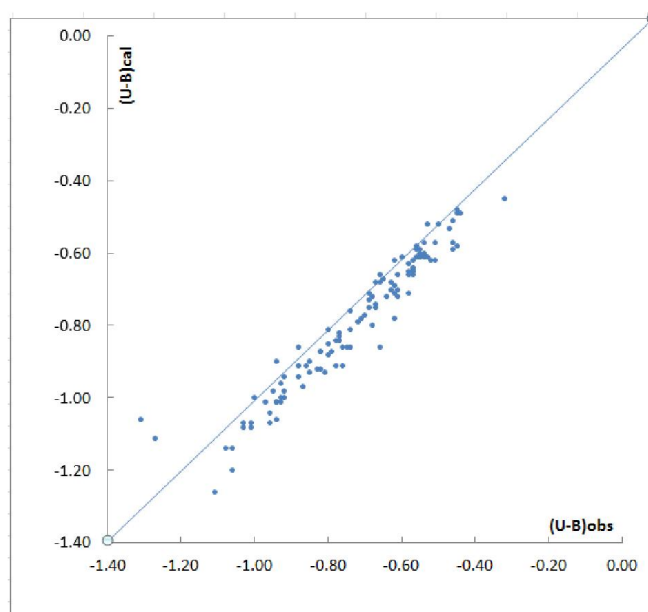


Рисунок 3 - Сравнение наблюдаемых и вычисленных показателей цвета (U-B)

Из рисунков следует, что для звездных величин в полосе V и для показателей цвета B-V систематических различий между наблюдаемыми и вычисленными из распределения энергии данными, практически нет. Только для нескольких звезд (HD45725/7, HD 190603, HD198478, HD209975 и HD212571) имеются значительные невязки для показателей цвета B-V, превосходящие по величине внутреннюю точность, характеризуемой среднеквадратичной ошибкой. Все они являются либо сверхгигантами, либо кратными или эмиссионными. По всей видимости, невязки для указанных выше звезд вызваны их переменностью. Подтверждением этого является различие фотометрических данных, приводимых разными авторами, которое достигает 0.1^m . Таких звезд среди исследованных насчитывается около 10%. Интересно, что сходимость вычисленных и непосредственно наблюдаемых видимых звездных величин оказалась выше сходимостей для показателей цвета. По-видимому, это объясняется более сильными изменениями излучения данных звезд в ультрафиолетовой области спектра, что свойственно горячим звездам.

Также отметим, что для абсолютного большинства звезд невязки для показателя цвета U-B положительные, вычисленные значения в среднем расположены ниже наблюдаемых на 0.06^m - 0.07^m (на рисунке 3 наблюдается параллельный сдвиг). Таким образом, вычисленные показатели цвета «синее» наблюдаемых. Однозначно ответить на вопрос о природе систематических различий невозможно. Причинами их могут быть небольшая погрешность использовавшейся кривой реакции в полосе U, ошибочное значение константы, систематическая ошибка в распределении энергии в спектрах ранних звезд и, в какой-то мере,

переменность звезд. Имеются случаи, когда невязки достигают 0.2^m (HD 36861/2, HD 37742/3, HD 37202 и HD 45995), но они носят случайный характер. Естественно, что звезды с большими невязками не следует использовать в качестве спектрофотометрических стандартов.

Работа выполнена по программе О.0674:0003/ГОПЦФ-15 «Развитие методов мониторинга и исследований космического пространства на базе современных информационных технологий» (проект «Создание информационной сети спектрофотометрических стандартов промежуточного блеска и исследование звезд, обладающих планетами»).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Tereschenko V.M., Kharitonov A.V., Knyazeva L.N. Spectrophotometric Catalogue of Stars, Lambert Academic Publishing, 2015, 303p.
- [2] Терещенко В.М., Сравнение Алма-Атинского спектрофотометрического каталога с прецизионным фотометрическим каталогом WBVR-величин, Известия НАН РК, серия физ.-мат., 2003, № 4, с. 28-33;
- [3] Терещенко В.М., Результаты сравнения Алма-Атинского спектрофотометрического каталога с фотометрическим каталогом «ТИХО», Известия НАН РК, серия физ.-мат., 2004, № 4, с. 60-64;
- [4] <http://vizier.u-strasbg.fr/>
- [5] В. Страйжис, Многоцветная фотометрия звезд. Вильнюс, Мокслас, 1997, 312с.

REFERENCES

- [1]. Tereschenko V.M., Kharitonov A.V., Knyazeva L.N. Spectrophotometric Catalogue of Stars, Lambert Academic Publishing, **2015**, - 303p. - (in Eng.)
- [2]. Tereschenko V.M. Sravnenie Alma-Atinskogo spektrofotometricheskogo kataloga s pretsizionnym fotometricheskim katalogom WBVR-velichin, Izvestiya NAN RK, seriya fiz.-mat. **2003**, № 4, p. 28-33 (in Russ.)
- [3]. Tereschenko V.M. Rezultaty sravneniya Alma-Atinskogo spektrofotometricheskogo kataloga s fotometricheskim katalogom "TIKHO", Izvestiya NAN RK, seriya fiz.-mat. **2004**, № 4, p. 60-64 (in Russ.)
- [4]. <http://vizier.u-strasbg.fr/> (in Eng.)
- [5]. Straizys V. Mnogotsvetnaya fotometriya zvezd. Vilnius, Mokslas, **1997**, 312p.- (in Russ.)

ӘОЖ: 523.03, 523.27

В.М. Терещенко

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

«ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯЛЫҚ КАТАЛОГЫ» О-В-ЖҰЛДЫЗДАР ҮШІН БАҚЫЛАНАТЫН ЖӘНЕ ЕСЕПТЕЛГЕН ЖҰЛДЫЗДАР ШАМАСЫН ЖӘНЕ ТҮСТЕРІНІҢ КӨРСЕТКІШТЕРІН САЛЫСТЫРУ

Аннотация. Тікелей бақыланатын және есептелген Жұлдыздар шамасы энергиясының таралуынан салыстыру арқылы «Жұлдыздардың спектрофотометриялық каталогы» 1160-В-жұлдыздар үшін мәліметтердің нақтылығының талдауы орындалды. UVV жүйесінде орындалғандар есептелді. Констант теңдеулеріне кіретіндер Веге бойынша анықталды. Салыстырулар В және V жолақтарында және жүйелік қателіктердің жоқ екендігін және U жолағында олардың барын дәлелдейді. Ультракүлгін аймақта фотометриялыққа қарағанда спектрофотометриялық мәліметтер айтарлықтай көгілдір. Аз ғана үйлеспеушілікпен жұлдыздар ғана спектрофотометриялық стандарттар ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: О-В-жұлдыздар, абсолютті спектрофотометрия, фотометрия, есептелген қолор-индекстер.