

УДК: 524.387

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ "ТОЧНЫХ" И "ПРИБЛИЖЕННЫХ" МЕТОДОВ ОЦЕНКИ АБСОЛЮТНЫХ И ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗДЕЛЕННЫХ ТЕСНЫХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМ

Г.Н.ДРЕМОВА, М.А.СВЕЧНИКОВ

Поступила 26 ноября 2003

Принята к печати 20 января 2004

В данной работе для тесных двойных систем (ТДС) с разделенными компонентами проводится поэлементное сравнение звездных характеристик (светимости, спектры, массы, абсолютные и относительные радиусы компонентов, их отношение масс, большая полуось и наклонение орбиты). В качестве исходных данных были использованы "Каталог орбитальных элементов, масс и светимостей затменных переменных звезд типа РГП с известными фотометрическими и спектроскопическими элементами" Свечникова, Перевозкиной и "Каталог приближенных фотометрических и абсолютных элементов затменных переменных звезд" Свечникова, Кузнецовой. Элементы орбиты, содержащиеся в первом каталоге, определены из решений известных фотометрических кривых блеска и известных кривых лучевых скоростей, тогда как орбитальные элементы второго каталога были оценены по данным ОКПЗ IV, используя приближенные статистические соотношения, такие, как "масса-радиус", "масса-светимость", "масса-спектр", зависимость орбитального наклона от глубины главного минимума и другие. Обсуждаются возможные причины дисперсий сравниваемых величин.

1. *Введение.* Из большого числа звездно-статистических задач основное место занимает задача составления каталогов, систематизирующих наблюдательные данные, опираясь на которые можно исследовать закономерности физических, кинематических, геометрических и других характеристик звезд, делать заключения о характере эволюции звезд и уточнять их эволюционный статус. Использование методов математической статистики и теории вероятности позволяет также выявлять связи между различными физическими характеристиками звезд данного эволюционного класса, выяснять распределение объектов как функции от одной и более физических характеристик, обнаружить новую или уточнить известную связь между различными функциями распределения.

Наиболее надежные элементы орбиты, а также абсолютные физические характеристики звезд дает изучение тесных двойных систем (ТДС) с разделенными компонентами на основе их фотометрических и спектроскопических наблюдений. Одна из последних версий подобного рода каталогов была составлена Свечниковым и Перевозкиной в 1999г. [1], систематизировавших сведения о 112 ТДС с разделенными компонентами, характеризующихся хорошо изученными кривыми блеска и кривыми

лучевых скоростей. Элементы спектроскопической и фотометрической орбит таких систем будем называть "точно" определенными.

Для 100 систем каталога [1] наблюдения соответствуют реализации "double lined spectra", когда в спектре двойной системы хорошо видны линии обоих компонентов. Это дает возможность непосредственно оценить отношение масс компонентов q , как отношение полуамплитуд лучевых скоростей. Далее, определив из решения фотометрической кривой блеска наклонение орбиты i и относительные радиусы компонентов r_1 и r_2 , можно вычислить массы M_1 , M_2 и большую полуось орбиты A , а также абсолютные радиусы R_1 , R_2 обоих компонентов как $r_1 \cdot A$ и $r_2 \cdot A$, соответственно. В случае "single lined spectrum", когда в спектре ТДС заметны лишь линии одного из компонентов, значение q оценивается по методу "M-L" [2], а затем приближенно "восстанавливаются" массы компонентов. Метод "M-L" построен на знании функции масс $f(M_1)$, которая находится из кривой лучевой скорости более массивного компонента, используя предположение, что этот компонент удовлетворяет зависимости "масса-светимость" для звезд Главной последовательности (ГП). Данной информации достаточно, чтобы определить массы компонентов, а также по обобщенному третьему закону Кеплера вычислить большую полуось орбиты ТДС, знание которой позволяет оценить абсолютные размеры звезд. По относительным радиусам r_1 , r_2 и блескам L_1 , L_2 компонентов, известных из решения фотометрической кривой блеска, легко оценить отношение поверхностных яркостей компонентов $J_1/J_2 = (L_1/L_2) \cdot (r_2^2/r_1^2)$ (в соответствии с эффективной длиной волны $\lambda_{эфф}$, в которой выполнены наблюдения). Описанные данные представляют неполный перечень из всего реестра абсолютных и относительных элементов орбиты тесной двойной системы.

Однако представленные в каталоге [1] ТДС с разделенными компонентами, составляют лишь $\approx 3\%$ от всех открытых к настоящему времени затменных переменных звезд. Поскольку статистические исследования наиболее информативны на больших по объему данных каталогах, то очень важно получить хотя бы приближенную оценку относительных и абсолютных элементов тех затменных систем, для которых элементы спектроскопической орбиты неизвестны, и прямое вычисление их абсолютных характеристик не представляется возможным. Именно поэтому было актуально создание "Каталога приближенных фотометрических и абсолютных элементов затменных переменных звезд", составленного Свечниковым и Кузнецовой в 1990г. [3], который включает ≈ 3800 ТДС. Для приближенной оценки их элементов орбиты были использованы полученные ранее Свечниковым и др. [4-7] статистические соотношения, такие, как "масса-светимость", "масса-радиус", "масса-спектр", а также эмпирические зависимости вида-наклонение орбиты i от глубины главного минимума A_1 , зависимость отношения масс компонентов q от относительной

разности глубин минимумов $\Delta A/A_1$ и др. Все они были найдены в результате статистической обработки 246 затменных систем из Каталога Свечникова, 1986г. [8], включающего системы с известными фотометрическими и спектроскопическими элементами орбит, что гарантировало достоверность выявленных по ним статистических корреляций элементов орбит и наблюдательных параметров.

Исходными данными для приближенного определения элементов орбиты затменно-двойных систем послужили сведения из ОКПЗ IV [9] о морфологическом типе системы, ее орбитальном периоде P , спектральных классах компонентов Sp_1 , Sp_2 , амплитудах главного A_1 и вторичного A_2 минимумов, продолжительности затмения D , продолжительности фазы постоянного блеска в минимуме d и других. В зависимости от комбинации известных из перечисленных выше базовых данных применялась соответствующая методика "восстановления" абсолютных и относительных элементов с помощью статистических зависимостей и простых формул определения орбиты. Найденные таким способом элементы спектроскопической и фотометрической орбит получили название "приближенные".

Правомерно возникает вопрос: насколько отличаются "точно" и "приближенно" определенные элементы орбиты для затменно-двойных систем? В данной работе это будет выяснено на примере ТДС с разделенными компонентами, принадлежащими ГП. В каталогах [1,3] их численность составляет 112 и 437, соответственно.

2. Сравнительный анализ данных.

2.1. *Критерии согласия.* Прежде чем проводить сравнения данных каталогов [1,3] необходимо на их основе составить равнозначные выборки. Число общих двойных систем с разделенными компонентами в обоих каталогах - 99. Именно для них имеет смысл сделать поэлементное сравнение звездных характеристик. Это абсолютные болометрические звездные величины M_{bol1} , M_{bol2} (логарифмы светимостей компонентов $\log L_1$ и $\log L_2$), массы M_1 , M_2 , спектры Sp_1 , Sp_2 , абсолютные R_1 , R_2 и относительные r_1 , r_2 радиусы компонентов, отношение масс компонентов q , большая полуось A и наклонение орбиты i . Что касается орбитального периода P , то следует подчеркнуть, что этот элемент орбиты, являясь наиболее точно определяемой величиной из наблюдений, не вычисляется приближенными методами, поэтому и не может рассматриваться в качестве элемента сравнения.

Критериями согласия по каждой паре сравниваемых элементов служат две величины - первая имеет смысл *среднестатистического разброса* или дисперсии отдельного результата и определяется как

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N (F_{C\&K}^i - F_{C\&П}^i)^2} . \quad (1)$$

Вторая величина представляет *относительный среднестатистический разброс* и характеризует среднее относительное отклонение от линии равных значений:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N ((F_{C\&K}^i - F_{C\&П}^i) / F_{C\&П}^i)^2}. \quad (2)$$

В качестве F^i подразумевается любой сравниваемый элемент. Индексы "С & К" и "С & П" относятся к элементам орбиты в соответствии с их принадлежностью либо к каталогу Свечникова, Кузнецовой, 1990 [3], либо к каталогу Свечникова, Перевозкиной, 1999 [1]. На рис.1-6 представлены результаты поэлементных сравнений для выборки из 99 общих систем. Далее исследуемая выборка была прорежена исключением из нее тех двойных систем, для которых рассогласование по данному элементу превышает значение $\sigma, 2\sigma, 3\sigma$. Для оставшихся систем после пропуска 3σ -процедуры были пересчитаны новые значения дисперсий - $3\sigma_{clear}$. Результаты сравнения, усиленные σ -критериями, приведены в табл.1. Табл.1 содержит результаты сравнительного анализа "точных" данных Каталога Свечникова, Перевозкиной [1] и данных Каталога Свечникова, Кузнецовой [3]. В первой графе таблицы перечислены все сравниваемые физические характеристики и орбитальные параметры ТДС. Во второй графе приведены *относительные* среднеквадратичные ошибки $\varepsilon_\sigma, \varepsilon_{2\sigma}, \varepsilon_{3\sigma}$ отдельного результата в зависимости от σ -критерия. В третьей, четвертой и пятой графах для каждого сравниваемого элемента приводятся *абсолютные* среднеквадратичные ошибки отдельного результата

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА

Элемент сравне- ния	Относительная ошибка ε , %				1 σ - критерий		2 σ - критерий		3 σ - критерий		
	ε вся вы- борка	ε_σ	$\varepsilon_{2\sigma}$	$\varepsilon_{3\sigma}$	σ	N_σ	2 σ	$N_{2\sigma}$	3 σ	$N_{3\sigma}$	$3\sigma_{clear}$
$\log L_1$	15.7	10.2	14.3	15.6	0.226	76	0.452	92	0.678	98	0.211
$\log L_2$	41.2	35	35	35	0.273	75	0.546	94	0.818	98	0.243
M_1	18.8	11.0	17.0	17.2	1.208	89	2.416	95	3.624	97	0.682
M_2	21.5	14.9	20.0	20.3	0.962	87	1.925	95	2.887	97	0.620
R_1	20.7	14.9	17.4	20.5	0.956	79	1.912	93	2.868	98	0.782
R_2	22.0	14.3	20.3	21.3	0.675	76	1.350	93	2.024	97	0.600
r_1	18.3	12.8	15.0	16.2	0.039	80	0.078	93	0.117	96	0.032
r_2	23.3	12.7	17.9	19.2	0.039	77	0.078	93	0.117	97	0.032
A	7.08	3.60	3.89	6.97	1.563	85	3.126	93	4.689	98	1.190
i	4.84	1.79	3.00	3.83	3.634	81	7.268	93	10.90	97	2.997
q	17.8	7.48	12.2	12.9	0.107	81	0.214	94	0.322	96	0.074
Sp_1	10.6	2.72	5.34	7.00	0.806	79	1.611	93	2.417	96	0.580
Sp_2	12.0	5.50	11.1	11.2	1.594	87	3.188	97	4.781	98	1.115

$\sigma, 2\sigma, 3\sigma$, а также удовлетворяющее выбранному сигма-критерию число систем — $N_\sigma, N_{2\sigma}, N_{3\sigma}$. В последней колонке таблицы содержатся новые ("очищенные" 3σ -критерием) значения среднеквадратичных ошибок отдельного результата $3\sigma_{clear}$.

Как видно из рис.1-3 и табличных данных о дисперсиях, поэлементные сравнения по массам обоих компонентов M_1, M_2 , их радиусам R_1, R_2 и отношению масс q , можно охарактеризовать близкими по своему значению

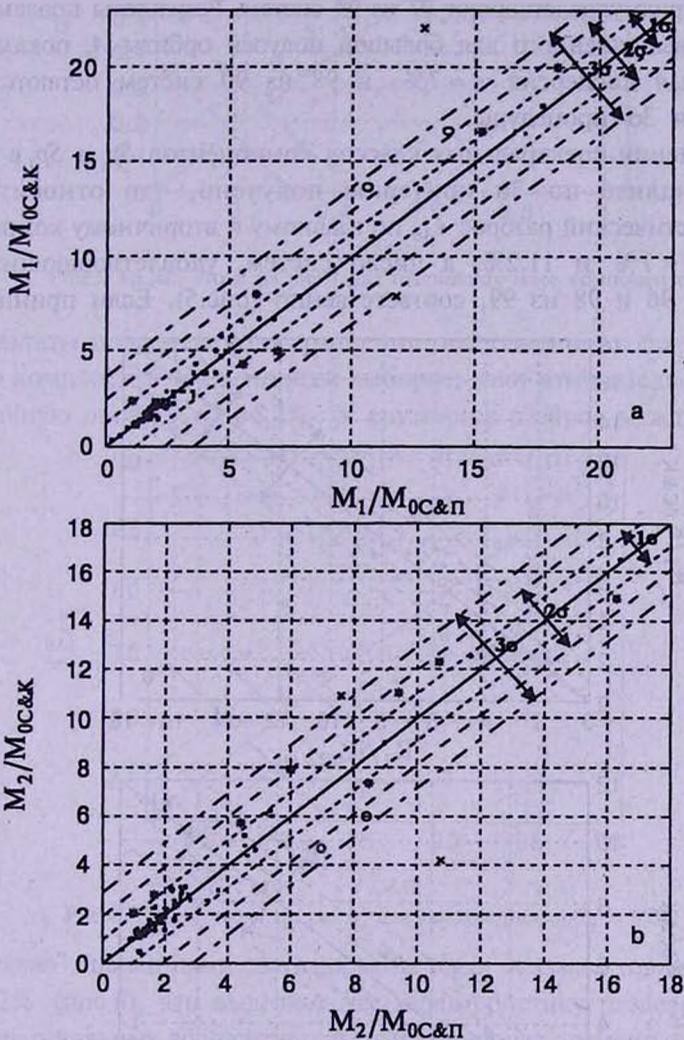


Рис.1а. Демонстрирует сравнение значений значений массы главного компонента M_1 ТДС с разделенными компонентами, оцененных из "точных" фотометрических и спектроскопических решений [1], и "приближенных" методов [2]. Двойные системы, для которых рассогласование по данному элементу не превышает значение σ , обозначены точками ".". ТДС, для которых рассогласование по M_1 превышает $\sigma, 2\sigma, 3\sigma$, обозначены на графике "*", "o", "x", соответственно. Пунктирные линии ограничивают σ -диапазон ошибок, штриховые линии — 2σ -диапазон ошибок и штрих-пунктирные линии 3σ -диапазон ошибок. Рис.1б - то же, что и на рис.1а, для массы спутника ТДС - M_2 .

дисперсиями. Величина ϵ по всей выборке варьирует в пределах 18-23%, и в среднем 97 из 99 систем остаются после пропускания процедуры 3σ . Аналогичное заключение справедливо и для относительных радиусов компонентов r_1, r_2 .

Сравнение по наклонению орбиты i (рис.4) по данным общей выборки каталогов [1,3] демонстрирует небольшой относительный среднестатистический разброс по всей выборке: значение ϵ меняется в пределах $\approx 5\%$, а 3σ - критерию удовлетворяют 97 из 99 систем. Результаты поэлементного сравнения, выполненного для большой полуоси орбиты A , показали, что относительная дисперсия $\epsilon \approx 7\%$, и 98 из 99 систем остаются после пропускания 3σ -процедуры.

В отношении спектральных классов компонентов Sp_1 и Sp_2 в сравнительном анализе по 3σ -критерию получено, что относительный среднестатистический разброс $\epsilon_{3\sigma}$ по главному и вторичному компонентам составляет $\approx 7\%$ и 11.2% , а число систем, удовлетворяющих этому условию - 96 и 98 из 99, соответственно (рис.5). Если принимать во

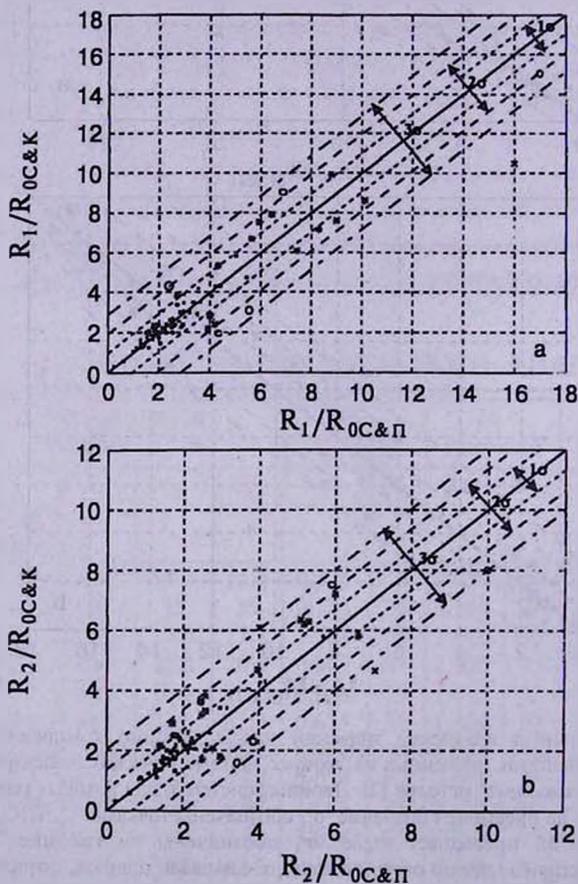


Рис.2. То же, что и на рис.1, для абсолютных радиусов компонентов ТДС - R_1, R_2 .

внимание всю выборку (99 систем), то ϵ возрастет к $\approx 10.6\%$ и 12% , соответственно для главного и вторичного компонентов.

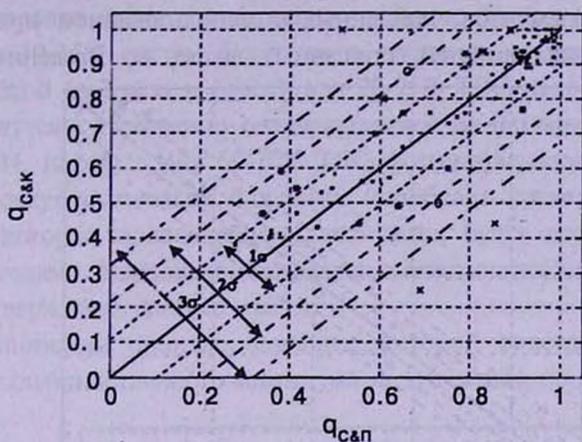


Рис.3. То же, что и на рис.1 для отношения масс компонентов q .

Результаты поэлементного сравнения, выполненного для светимости главного компонента $\log L_1$ по всей выборке, дают относительную средне-квadraticную ошибку $\epsilon \approx 15.7\%$. У спутников разброс между "точно" и

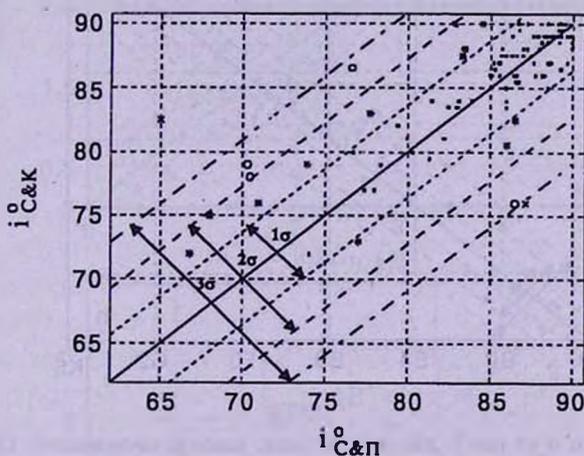


Рис.4. То же, что и на рис.1, для наклонения орбиты ТДС i .

"приблизненно" оцененными светимостями $\log L_2$ оказался гораздо заметнее - $\epsilon \approx 41.2\%$ (рис.6), что выделяет эту характеристику разделенной ТДС среди всех остальных абсолютных и относительных элементов ее орбиты.

2.2. Причины рассогласования "точных" и "приблизженных" элементов орбиты. То, что рассогласования между элементами орбиты, взятых из точного и приближенного каталогов [1,3] будут иметь место - это вполне ожидаемо и закономерно. Вопрос лишь в количественной оценке степени расхождения данных. На момент, когда создавался "Каталог

приближенных фотометрических и абсолютных элементов затменных переменных звезд" [3], уже ставился вопрос о надежности относительных и абсолютных элементов, найденных с использованием приближенных статистических зависимостей, описанных выше, во Введении. Точность

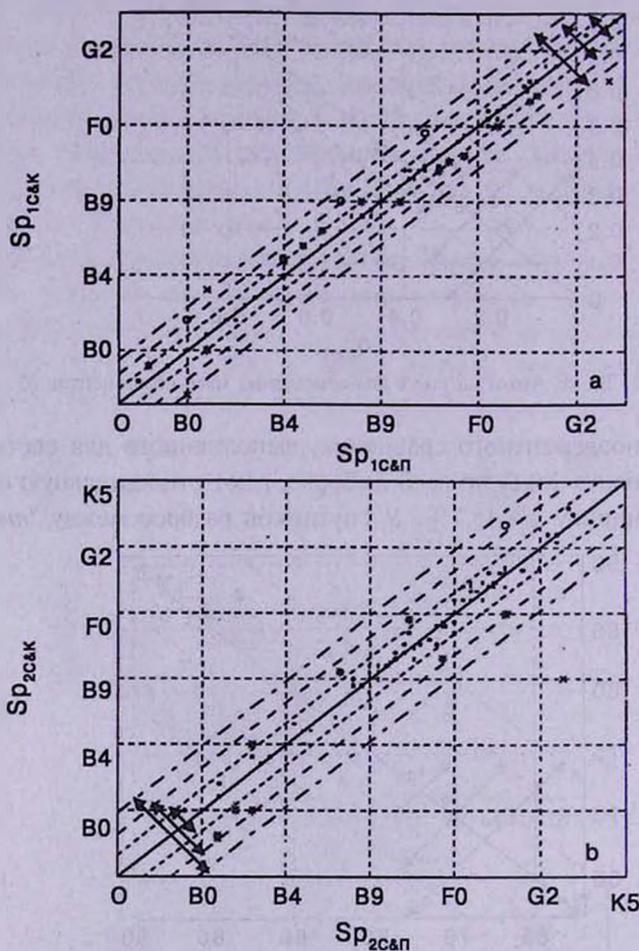


Рис.5. То же, что и на рис.1, для спектральных классов компонентов ТДС - Sp_1 , Sp_2 .

этих элементов существенно выше для систем с известными спектрами главных компонентов Sp_1 , численность которых в каталоге [3] составила порядка 1200 из 3800, из них с разделенными компонентами ≈ 270 ТДС. Поскольку классификация затменно-переменных систем по эволюционным типам производилась с помощью простых критериев, разработанных в [4], - по спектральному типу главного компонента Sp_1 , орбитальному периоду P , глубине главного минимума A_1 и разности глубин минимумов ΔA - в некоторых случаях возможны ошибки в использованной классификации. К этому следует добавить ошибочность отдельных сведений и неполноту

данных каталога ОКПЗ IV [9], а также приближенный характер оценки элементов по среднестатистическим зависимостям. Учет вышеперечисленных факторов позволил сделать следующие предварительные оценки авторами каталога [3]: 10-15% систем будут иметь элементы орбиты, оцененные с грубой ошибкой (в 3 раза и более); для 20-25% ТДС найденные элементы орбиты окажутся существенно отличающимися от истинных элементов (в 1.5-2 раза). И, наконец, для 60-70% ТДС фотометрические и абсолютные элементы окажутся довольно близкими (ошибка в пределах 20 + 30%) к элементам, которые в дальнейшем, возможно, будут пересчитаны более точными методами. Насколько оправдался статистический прогноз, красноречиво подтверждают данные табл.1.

Для наклона орбиты, значение которой восстанавливалось по зависимости глубины главного минимума A_1 , известной по данным каталога

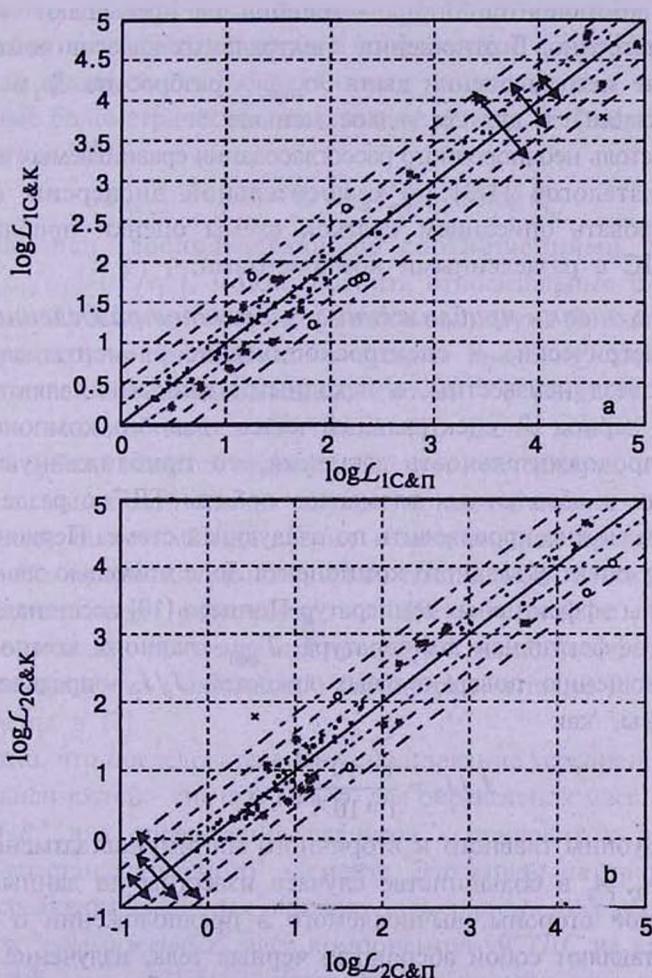


Рис.6. То же, что и на рис.1, для светимостей компонентов ТДС - $\log L_1$, $\log L_2$.

ОКПЗ IV [9], от i , дисперсия σ_i оказалась $\approx 3^{\circ}.63$, а относительная среднеквадратичная ошибка ϵ , по всей выборке - 4.84%.

Зависимость $i(A_1)$ была исследована по 246 затменным системам из Каталога Свечникова [8] и позволила обеспечить надежность определения наклона с ошибкой $3\sigma_{clear} \approx 3^{\circ}$ по 3σ -критерию для $\approx 98\%$ ТДС из общей сравниваемой здесь выборки.

Такая же степень надежности (96 + 97%) по 3σ -критерию характерна при оценке приближенными методами масс главных и вторичных компонентов, их абсолютных и относительных радиусов, а также отношения масс компонентов. Возникающие при этом ошибки $3\sigma_{clear}$ по массам, абсолютным радиусам главных компонентов и спутников, большим полуосям орбиты составляют $\approx 0.68 M_0$ и $0.62 M_0$, $0.78 R_0$ и $0.60 R_0$, $1.19 R_0$, соответственно. По относительным радиусам обоих компонентов и отношению масс компонентов $3\sigma_{clear}$ - ошибки не превышают ≈ 0.032 и 0.074 , соответственно. В отношении спектральных классов компонентов приближенные методы оценки дают $3\sigma_{clear}$ - разброс по Sp_2 в пределах одного "подкласса", а для Sp_1 - вдвое меньше.

Причины столь неоднородного рассогласования сравниваемых элементов орбиты из каталогов [1,3] по относительной дисперсии ϵ можно прокомментировать описанием краткой схемы оценки приближенных элементов ТДС с разделенными компонентами.

2.3. Схема оценки приближенных элементов разделенных ТДС.

Когда фотометрические и спектроскопические элементы затменных переменных звезд неизвестны, а исходными данными являются лишь орбитальный период P , спектральный класс главного компонента Sp_1 , глубины и продолжительность затмения, то приближенную оценку относительных и абсолютных элементов орбиты ТДС с разделенными компонентами можно производить по следующей схеме. Первоначально, по известному спектру главного компонента Sp_1 с помощью зависимости " M - Sp " и шкалы эффективных температур Поппера [10] восстанавливаются масса M_1 и эффективная температура $T_{эфф1}$ главного компонента, а затем по отношению поверхностных яркостей J_1/J_2 , определяемого, с одной стороны, как

$$J_1/J_2 = \frac{1 - 10^{-0.4 \cdot A_1}}{1 - 10^{-0.4 \cdot A_2}}, \quad (3)$$

где A_1, A_2 - глубины главного и вторичного минимумов затмения, соответственно (A_1, A_2 в большинстве случаев известны по данным ОКПЗ IV), а, с другой стороны, вычисляемого в предположении о том, что звезды представляют собой абсолютно черные тела, излучение которых подчиняется закону Планка,

$$J_1/J_2 = \frac{e^{c_2/(\lambda_{эфф} \cdot T_{эфф2})} - 1}{e^{c_2/(\lambda_{эфф} \cdot T_{эфф1})} - 1}, \quad (4)$$

из равенства (3)=(4) можно оценить эффективную температуру спутника $T_{эфф2}$, а значит и его спектральный класс Sp_2 по [10], что дает возможность "восстановить" массу спутника M_2 , вновь воспользовавшись известной зависимостью "M-Sp" для звезд ГП. Далее можно вычислить параметр $q = M_2/M_1$ и большую полуось орбиты A по третьему обобщенному закону Кеплера:

$$A = 74.45^{1/3} \cdot (M_1 + M_2)^{1/3} \cdot P^{2/3}, \quad (5)$$

где P - период в днях, A - большая полуось орбиты в радиусах Солнца R_0 , массы - в долях солнечной массы, M_0 . Следующий этап - это вычисление размеров компонентов R_1 и R_2 , для нахождения которых используются статистическая зависимость "M-R" для звезд ГП, а также оценка их относительных радиусов по формулам $r_1 = R_1/A$ и $r_2 = R_2/A$. По известным радиусам и эффективным температурам определяются абсолютные болометрические звездные величины главного и вторичного компонентов ТДС:

$$M_{bol1,2} = 42.31 - 10 \cdot \log T_{эфф1,2} - 5 \log R_{1,2}. \quad (6)$$

И, наконец, воспользовавшись соотношениями $L_1 + L_2 = 1$ и $J_1/J_2 = (L_1/L_2) \cdot (r_2^2/r_1^2)$, можно оценить относительные блески компонентов L_1 и L_2 . Если глубина вторичного минимума A_2 была неизвестна, тогда параметру q приписывалось среднее значение, характерное для класса разделенных тесных двойных систем - $\bar{q} = 0.8$ [7], по которому "восстанавливалась" масса спутника M_2 . Далее схема определения элементов орбиты остается прежней. Следует подчеркнуть, что частичным контролем описанной схемы служат дополнительные соотношения, связывающие такие наблюдательные величины, как продолжительность затмения D и продолжительность фазы постоянного блеска в минимуме d с относительными радиусами - $\pi \cdot D = r_1 + r_2$ и $\pi \cdot d = r_1 - r_2$. Более подробное описание применяемых процедур в зависимости от конкретного набора наблюдаемых ("входящих") параметров, а также их аргументация представлены в [7].

Понятно, что последовательное использование усредненных статистических зависимостей - сначала "M-Sp" для определения масс компонентов, затем "M-R" для определения радиусов - приводит к накоплению ошибки "восстанавливаемого" элемента. Это видно на примере относительных среднеквадратичных ошибок, характеризующих рассогласование "точных" и "приближенных" масс компонентов 99 ТДС из каталогов [1,3] ($\epsilon_{M1} = 18.8\%$, $\epsilon_{M2} = 21.5\%$), которые оказываются при любом сигма-критерии ($\epsilon_{\sigma}, \epsilon_{2\sigma}, \epsilon_{3\sigma}$) меньше аналогичных дисперсий, показывающих

разброс "точных" и "приближенных" радиусов ($\epsilon_{R1} = 20.7\%$, $\epsilon_{R2} = 22\%$) ТДС. Также усредненный характер статистических зависимостей является причиной заметного снижения надежности приближенной оценки масс и радиусов компонентов. Светимости главных компонентов $\log L_1$ и, в особенности, спутников $\log L_2$ определяются гораздо менее точно - рассогласование "точных" и "приближенных" оценок этих величин достигает $\epsilon_{L1} = 15.7\%$ и $\epsilon_{L2} = 41\%$, соответственно. Тот факт, что высокая относительная среднеквадратичная погрешность светимости спутников ϵ_{L2} , взятых из каталогов [1,3], выделяется на фоне остальных дисперсий ϵ поэлементных сравнений и типична для большинства ТДС, подтверждается тем, что независимо от сигма-критерия ее значение, фактически, неизменно - 35%.

Важно подчеркнуть, что анализ относительных дисперсий ϵ элементов сравнения, в частности, относительных дисперсий светимостей ϵ_L компонентов ТДС является в некоторой степени формальным и на самом деле малоинформативным. Потому что, как видно из рис.6, достаточно много систем сосредоточено вблизи нулевых значений логарифмов светимостей, что в значительной степени искажает определение относительной дисперсии ϵ_L для исследуемой выборки. Это может быть в меньшей степени выражено и для других элементов сравнения, поэтому имеет смысл обозначить для них доверительные интервалы.

2.4. Доверительные интервалы элементов сравнения ТДС. Определим границы доверительных интервалов для каждого элемента сравнения из распределений "точных" элементов сравнения $F_{C\&П}^i$ [1] по их индивидуальным относительным ошибкам ϵ^i .

Из распределений светимостей компонентов $\log L_1$ и $\log L_2$ по их относительным ошибкам ϵ'_{L1} и ϵ'_{L2} (рис.7) хорошо видно, что относительные ошибки данных элементов резко возрастают по мере уменьшения собственных значений элементов. Поэтому для логарифмов светимостей можно выделить доверительный интервал $[2+5]$, где величина относительной ошибки отдельного результата ϵ' стабильна и не превышает 20%.

Для элементов M_1 , M_2 и R_1 , R_2 , r_1 , r_2 нет четко выраженной зависимости роста относительных ошибок с изменением величины. На всем диапазоне изменения масс компонентов от $0.8M_0$ до $25M_0$ и радиусов от $0.5R_0$ до $17R_0$, их абсолютные ошибки, пересчитанные по 3σ -критерию, не меняются - $3\sigma_{M1} \approx 0.68M_0$, $3\sigma_{M2} \approx 0.62M_0$ и $3\sigma_{R1} \approx 0.78R_0$, $3\sigma_{R2} = 0.60R_0$, $3\sigma_{r1,r2} = 0.032$. Тогда как относительные ошибки данных элементов сравнения "пробегают" весь диапазон значений - от 0 до 100%. Следует заметить, что при одной и той же абсолютной ошибке определения массы или радиуса, относительные ошибки для звезд малых масс $1M_0 + 2.5M_0$ и радиусов $1R_0 + 2.5R_0$ будут значительно выше.

Среди ТДС с разделенными компонентами, которые встречаются в данной выборке, большинство систем имеют орбитальные периоды, меняющиеся в пределах $1^d.2 + 7^d$. Значимость этого интервала усиливается

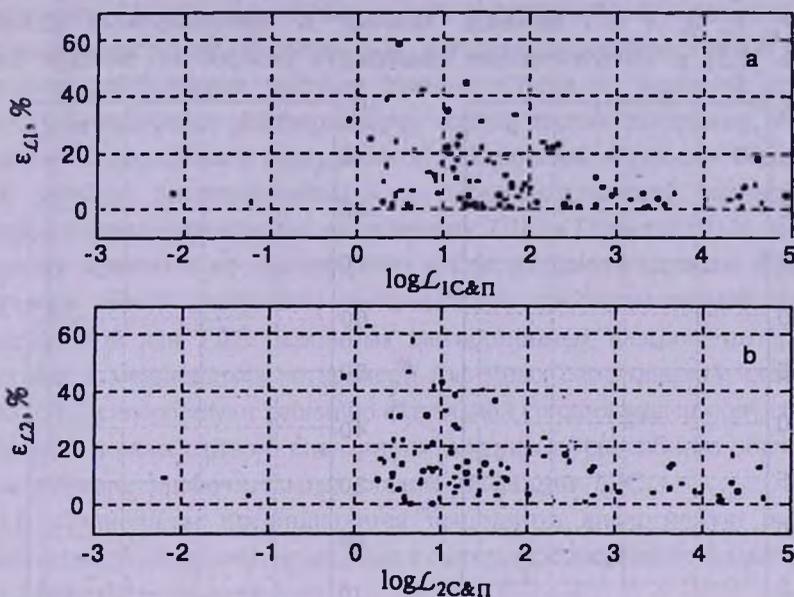


Рис.7а, б. Представляет распределения "точных" элементов сравнения $\log L_1$, $\log L_2$ из каталога [1] по их индивидуальным относительным ошибкам ϵ' .

тем фактом, что границы данного интервала подтверждаются с помощью *формализма*, описывающего эволюцию маломассивных разделенных тесных двойных систем ($M_1 \leq 2 + 2.5 M_0$) вследствие возможной потери орбитального углового момента из-за магнитного звездного ветра [11,12].

Доверительный интервал, полученный в результате поэлементного сравнения больших полуосей разделенных ТДС по данным каталогов [1,3], имеет границы - $[7 R_0 + 30 R_0]$, где индивидуальные относительные ошибки ϵ'_A не превышают $5 + 10\%$, за исключением четырех систем. Распределение орбитальных наклонений (рис.8а) по относительным ошибкам показывает хорошо выраженную концентрацию затменно-переменных в диапазоне $[87^{\circ}.5 + 90^{\circ}]$, где ϵ' ниже 5%, т.к. именно в этом интервале вероятность обнаружения ТДС как затменно-переменной наиболее высокая. Остальные затменно-переменные с наклонением $70^{\circ} \leq i < 87^{\circ}.5$ могут определяться с точностью до 12%.

Из распределения отношения масс компонентов по относительным ошибкам ϵ'_q (рис.8б) видно, что относительные ошибки данного элемента заметно убывают с возрастанием значения q - чем ближе $q \rightarrow 1$, тем меньше ошибка определения ϵ'_q . Следовательно, для отношения масс компонентов можно выделить доверительный интервал $[0.8 + 1]$ с ϵ'_q , не

превышающей 12%. Для малых значений q ошибки существенно возрастают.

3. *Заключение.* Суммируя результаты поэлементного сравнения звездных характеристик, таких, как $\log L_1$, $\log L_2$, M_1 , M_2 , Sp_1 , Sp_2 , R_1 , R_2 , r_1 , r_2 , q , A и i на базе "точных" и "приближенных" данных каталогов [1,3] и количественно анализируя разброс по каждой паре

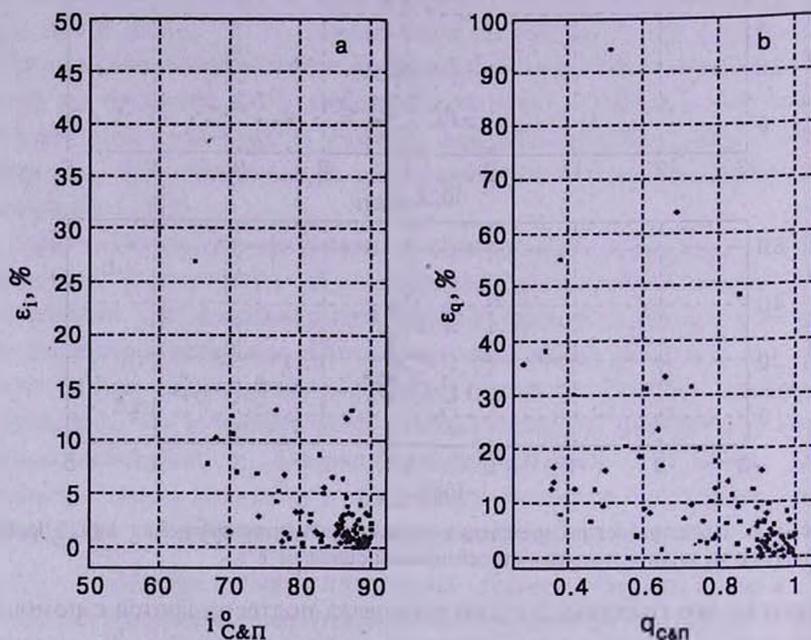


Рис.8а, б. То же, что и на рис.7, для наклона орбиты ТДС i и отношения масс q' .

сравниваемых величин, можно сделать вывод о правомерности использования приведенных в "Каталоге приближенных фотометрических и абсолютных элементов затменных переменных звезд" [3] элементов при различных статистических исследованиях, а также в качестве исходного приближения при вычислении фотометрических и абсолютных элементов затменных переменных звезд более точными методами.

Полученные здесь оценки степени надежности приближенных орбитальных и абсолютных элементов из каталога [3] заметно превосходят предварительный прогноз, сделанный авторами каталога [3] в 1990г. и подтверждают заключение о целесообразности применения приближенных методов. Действительно, для $\approx 97\%$ ТДС ошибки в определении их фотометрических и абсолютных элементов не превышают в среднем $20 + 30\%$. Кроме того, статистическая обработка большого объема наблюдательного материала полезна для выявления эволюционной взаимосвязи различных классов ТДС, находящихся в фазе "первого обмена массой". Следует подчеркнуть, что большой объем данных [3], хотя и

полученных приближенными методами, является особенно информативным при расчете подробных распределений пространственной плотности разделенных двойных систем в произвольно выбранных диаграммах (например, " M_1 - P "). Корректность этих построений, выполненных с учетом полной вероятности открытия ТДС как затменно-переменной и объема, в котором наблюдаются системы данного класса до заданной предельной звездной величины, подтверждается серией тестов. Например, восстановлением "современного спектра масс", Начальной Функции Масс (НФМ) как функции звездообразования, а также независимой оценкой "снизу" скорости звездообразования разделенных ТДС в Галактике [13], которая по порядку величины не противоречит наблюдательным данным. Кроме того, изучение общей диаграммы распределения пространственной плотности, построенной для ТДС различных эволюционных классов, интерпретация текущих и меняющихся во времени взаимных соотношений численностей этих ТДС, способствуют решению актуальной сегодня задачи популяционного синтеза - поиска единого сценарного механизма, способного объяснить все многообразие заключительных стадий эволюции ТДС.

В дальнейшем предполагается выполнить аналогичную работу для предконтактных систем, известных в литературе как короткопериодические RS CVn.

Уральский государственный университет им. М.Горького,
Екатеринбург, Россия e-mail: g.n.dryomova@mail.ru

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF "ACCURATE" AND "APPROXIMATE" EVALUATION PROCEDURE OF ABSOLUTE AND RELATIVE ELEMENTS OF THE DETACHED CLOSE BINARY SYSTEMS

G.N.DRYOMOVA, M.A.SVECHNIKOV

The elementwise comparisons of the stellar characteristics (luminosities, spectra, masses, absolute and relative radii of the components, mass ratio, major semi-axis, orbital inclination) for Close Binary Systems (CBS) with the detached components have been carried out. As an initial database "The catalogue of the accurate orbital elements, masses and luminosities of the CBS with the detached components" by Svechnikov, Perevozkina, 1999 and "The catalogue of approximate photometric and absolute elements of eclipsing variable stars" by Svechnikov, Kuznetsova, 1990 have been chosen. The

elements of an orbit containing in the first catalogue were defined from the solutions of the known photometric light curves and known radial velocities curves, whereas the orbital elements of the eclipsing binaries collected in the second catalogue were found by the application of the approximate statistical relations such as "mass - radius", "mass - spectrum", "mass - luminosity", the correlation between the orbital inclination and the main minima deep and so on. The possible reasons of discrepancies of the compared quantities have been discussed.

Key words: *(stars:) binaries:eclipsing*

ЛИТЕРАТУРА

1. *Е.Л.Перевозкина, М.А.Свечников*, Каталог орбитальных элементов, масс и светимостей переменных звезд РГП типа и некоторые результаты его статистической обработки, Изд-во УрГУ, Екатеринбург, с.5, 1999.
2. *М.А.Свечников*, Каталог орбитальных элементов, масс и светимостей тесных двойных звезд, Уч. зап. УрГУ, сер. Астрон., Екатеринбург, N88, вып.5., с.271, 1969.
3. *М.А.Свечников, Э.Ф.Кузнецова*, Каталог приближенных фотометрических и абсолютных элементов затменных переменных звезд, Изд-во УрГУ, Екатеринбург: 1, 2, 456, 1990.
4. *М.А.Свечников, Л.Ф.Истоин, О.А.Грехова*, Разработка и применение простых критериев для массовой классификации затменных переменных звезд. II. Классификация затменных переменных из каталога ОКПЗ III и дополнений к нему, Перемен. звезды, 21, N3, 413, 1980.
5. *М.А.Свечников, Т.А.Тайдакова*, Астрон. ж., 61, N1, 143, 1984.
6. *М.А.Свечников*, Каталог орбитальных элементов, масс и светимостей тесных двойных звезд, некоторые результаты его обработки, Бюл. Абастум. астрофиз. обсерв., 59, 71, 1985.
7. *М.А.Свечников*, Классификация и физические характеристики затменных переменных звезд, Докт. дисс., МГУ, М., с.292, 1985.
8. *М.А.Свечников*, Каталог орбитальных элементов, масс и светимостей тесных двойных звезд., Изд. УрГУ, Иркутск, с.226, 1986.
9. *П.Н.Халопов*, Общий каталог переменных звезд, 4 изд. Наука, М., 1985.
10. *D.M.Popper*, Stellar masses, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 18, 115, 1980.
11. *I.J.Iben, A.V.Tutukov*, Astrophys. J., 284, 719, 1984.
12. *А.В.Тутуков, Г.Н.Дремова, М.А.Свечников*, Астрон. ж., 2004 (в печати).
13. *Г.Н.Дремова*, Об эволюции маломассивных тесных двойных систем, канд. дисс. ГАО РАН, Санкт-Петербург, с.150, 2002.