

Комплекс программ для анализа кривых блеска затменных двойных систем прямым методом

М. И. Лавров

Публикуется и описывается комплекс программ для анализа в рамках модели Рессела-Меррилла кривых блеска затменных двойных систем прямым методом. Комплекс предназначен для использования на малых ЭВМ "Наири"К. Могут решаться следующие задачи:

1. Представление кривой блеска вне затмений рядом Фурье, вывод коэффициентов ректификации и ректификация интенсивностей.
2. Построение в осях k , p_0 линии глубин $p_0(k)$.
3. Определение элементов фотометрической орбиты прямым методом автора.
4. Определение точных фаз середин затмений.
5. Вычисление теоретической кривой блеска и ее сравнение с наблюдениями.
6. Уточнение элементов фотометрической орбиты методом дифференциальных поправок.

Complex of Programs for the Analysis of the Light Curves of Eclipsing Binary Systems by Direct Method by M. I. Lavrov

The programs for the computer solution of light curves of eclipsing binary systems are described in this paper. They have been derived for small computer "Nairy K" and suitable for rectifiable Russell-Merrill model. The next problems may be solved with it:

1. Representation of the uneclipsed parts of the light curve by the Fourier series and rectification of the observed intensities.
2. Construction of the depth relation $p_0(k)$.
3. Solution of the light curve by direct method proposed by the author.
4. Improvement of the mid-epochs of primary and secondary minima.
5. Computation of theoretical light curve and its comparison with the observations.
6. Successive improvements of the elements by the method of differential corrections.

Введение.

Методы определения элементов фотометрической орбиты у затменных двойных систем делятся на прямые и обратные (Цесевич, 1947). Методы, в которых для получения элементов используются функции $x_a(k, p)$ называются прямыми, а методы, в которых для этих же целей служат полученные путем численного обращения значения $x_p(k, a)$ —

обратными. До последнего времени чаще всего использовались обратные методы Рессела-Меррилла, Копала-Пиотровского, Фетлара-Шнеллера (Шульберг, 1971). Все они разрабатывались для "ручного" использования. С появлением ЭВМ некоторые из них после соответствующей модификации или безо всяких изменений были приспособлены и для машинного использования. Однако, трудности с оценкой погрешностей получаемых результатов делают их менее привлекательными по сравнению с прямыми.

За последние годы разработано много вариантов и прямого метода для различных теорий интерпретации кривых блеска (Горак, 1970; Вуд, 1971; Вилсон и Девинней, 1971; Нельсон и Дэвис, 1972; Черепашук, 1971 и др.). Большая часть их предполагает наличие более или менее надежных исходных данных о системе. В методе, разработанном автором (Лавров, 1970, 1971а, 1971б), предварительные сведения об элементах орбиты не требуются.

Основы прямого метода.

Напомним вкратце суть этого метода. Будем рассматривать сначала только круговые орбиты. Для всех средних точек (или индивидуальных наблюдений) внутри главного и вторичного затмений можно написать следующую систему нелинейных уравнений:

$$\begin{aligned} 1 - l(\Phi) &= x_1^1 a(k, r_2, i, \Phi) x_1^1 t(k) L_1, \\ 1 - l(\Phi) &= x_2^2 a(k, r_2, i, \Phi) L_2, \end{aligned} \quad (1)$$

решение которой относительно неизвестных k, r_2, i, L_1 при фиксированных значениях x_1, x_2 и составляет суть прямого метода. Каждому уравнению должен быть приписан вес:

$$w = n!^{-2\gamma}, \quad (2)$$

где n — число наблюдений, входящих в рассматриваемую точку, а $\gamma = 0$, если ошибки наблюдений внутри затмений остаются постоянными в шкале интенсивностей, и $\gamma = 1$, если ошибки постоянны в шкале звездных величин.

Искомыми величинами неизвестных считаются такие их значения, при подстановке которых в уравнения системы (1) функция S , представляющая собой сумму взвешенных квадратов отклонений наблюдаемых потерь блеска от теоретических, достигает минимума:

$$S(k, r_2, i, L_1) = \sum [(1-l)_H - (1-l)_B]^2 w_i = \min, \quad (3)$$

строгого математического метода решения такой задачи не существует. На эмпирическом уровне решения могут применяться: способ поочередных циклических изменений переменных, способ градиентов, метод случайного поиска. Все они требуют многократных вычислений теоретической кривой и, следовательно, приводят к большим затратам машинного времени. Однако, использование информации о глубинах затмений позволяет существенно ускорить решение задачи. В самом деле, элементы орбиты должны быть таковы, чтобы значения отношения радиусов звезд k и минимальная геометрическая фаза затмения

$$p_0 = \frac{\cos i}{r_2} - \frac{1}{k} \quad (4)$$

удовлетворяли так называемому уравнению глубин:

$$\frac{1 - \lambda_{oc}}{x_2 a_0^{oc}(k, p_0)} + \frac{1 - \lambda_{tr}}{x_1 r(k) x_1 a_0^{tr}(k, p_0)} = 1. \quad (5)$$

Решение этого уравнения при фиксированных значениях x_1, x_2 дает зависимость $p_0(k)$, графическое изображение которой в прямоугольной системе координат k, p_0 обычно называют линией глубин затмений. Какая пара значений k, p_0 из этого семейства точек является истинной, заранее неизвестно. Будем поэтому действовать путем испытаний. Заддим некоторое пробное значение $k = k_1$. При отсутствии какой-либо предварительной информации о системе можно начать с $k_1 = 1$. Из решения уравнения глубин найдем для этого значения k_1 соответствующее ему значение p_0 . Заддим затем оцененное по ширине затмений некоторое начальное значение r_2 и шаг его изменения Δr_2 . Со значениями k, p_0, r_2 из выражения (4) найдем величину $\cos i$ и вычислим значения L_1, L_2 по формулам:

$$L_1 = \frac{1 - \lambda_{tr}}{x_1 r(k) x_1 a_0^{tr}(k, p_0)}; \quad (6)$$

$$L_2 = \frac{1 - \lambda_{oc}}{x_2 a_0^{oc}(k, p_0)}. \quad (7)$$

При этом нам заранее придется условиться о типе затмения в главном минимуме. Теперь можно вычислить теоретическую кривую блеска, сравнить ее с наблюдениями и получить первое значение $S = S_1(r_2; k_1, p_0, L_1)$. Сделаем шаг по r_2 , вычислим новое значение i и получим второе значение $S = S_2(r_2 + \Delta r_2; k_1, p_0, L_1)$. Если $S_2 < S_1$, то направление изменения r_2 правильное, если же $S_2 > S_1$ — надо изменить знак Δr_2 . Будем продолжать изменения r_2 в установленном направлении на величину Δr_2 до тех пор, пока очередная сумма S не сделается больше предыдущей. Таким образом, для трех последних и последовательных значений r_2 , которые можно обозначить как $(r_2)_1, (r_2)_2, (r_2)_3$, мы будем иметь неравенство:

$$S_1 > S_2 < S_3. \quad (8)$$

Вершина параболы, построенной по этим трем точкам, будет приходиться на значение:

$$r_2 = (r_2)_2 + \frac{\Delta r_2}{2} \frac{(S_1 - S_2) - (S_3 - S_2)}{(S_1 - S_2) + (S_3 - S_2)}, \quad (9)$$

при котором $S(r_2)$ минимально. Но это будет минимальное значение S для произвольно заданного значения k_1 . Обозначим эту сумму через $S_{1k}(r_2)$ и сделаем теперь шаг по k : $k_2 = k_1 + \Delta k$. Повторим всю вышеописанную процедуру поиска p_0 и $S(r_2) = \min$ для нового значения $k = k_2$, мы получим сумму $S_{2k}(r_2)$. Если она окажется больше предыдущей, сменим знак Δk . Если же $S_{2k} < S_{1k}$, делаем новый шаг по k в том

же направлении и так до тех пор, пока очередная сумма S_k не станет больше предыдущей. По трем последним S_k , удовлетворяющим неравенству (8), по формуле, аналогичной (9), найдем:

$$k = k_2 + \frac{\Delta k}{2} \frac{(S_{1k} - S_{2k}) - (S_{3k} - S_{2k})}{(S_{1k} - S_{2k}) + (S_{3k} - S_{2k})}, \quad (10)$$

при котором $S(k, r_2) = \min$. Выполнив полный цикл вычислений для этого значения k , мы и получим искомые элементы, для которых

${}^{x_1} {}^{x_2} S(k, r_2, i, L_1) = \min$. Таким образом, используя условие нахождения точки k, p_0 на линии глубин, мы довольно быстро получим искомые элементы фотометрической орбиты.

Для эксцентрических орбит применяется такая же методика, только минимумы $S(r_2)$ при заданном значении k предварительно используются для получения минимумов $S(r_2, e)$ по эксцентриситету. При этом используется дополнительное условие: e и ω должны быть таковы, чтобы в нижнем соединении главной звезды долгота ν_{BT} была в точности равна π , т. е.

$$\nu_{BT}(e, \omega) \pi^{-1} = 1. \quad (11)$$

Это условие мы будем называть уравнением эксцентриситета. Оно позволяет получить зависимость $\omega = \omega(e)$, которая для каждого испытываемого значения e определяет соответствующее условию (11) значение ω . Конкретное содержание вычислительных процедур для эксцентрических орбит будет раскрыто в описании программы.

Полученные прямым методом элементы фотометрической орбиты будут неточны как из-за постепенного накопления погрешностей в циклах интерполяции по r_2, e, k , так и из-за неточного знания глубин затмений и коэффициентов потемнения дисков звезд к краю. Их можно уточнить по методу дифференциальных поправок (Ирвин, 1947; Лавров, 1971а). С предварительными значениями элементов фотометрической орбиты для всех средних точек в затмениях составляется система уравнений вида:

$$\left(\frac{\partial f}{\partial k} \Delta k + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta r_2 + \frac{\partial f}{\partial \cos^2 i} \Delta \cos^2 i + \frac{\partial f}{\partial e} \Delta e + \frac{\partial f}{\partial \omega} \Delta \omega + \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 \right) L + g f \Delta L_1 = 0 - C \quad (12)$$

в которой $L_1 = L_2$, $f = {}^{x_2} a^{OC}$, $g = -1$, $\frac{\partial f}{\partial x_1} = 0$ для покрытий и $L = L_1$, $f^{x_1} = {}^{x_1} a^{tr}$, $g = 1$, $\frac{\partial f}{\partial x_2} = 0$ для прохождений. Сопоставление и решение этой

системы уравнений способом наименьших квадратов с учетом весов (2) повторяется до тех пор, пока поправки к очередным исходным элементам не станут на 2–3 порядка меньше своих вероятных ошибок.

Распределение ячеек.

В соответствии с вышеизложенным программа состоит из двух частей и занимает около 1200 ячеек ОЗУ ЭВМ "Паири К". Первая часть, команды 1000–1893, предназначена для определения элементов фотометрической орбиты прямым методом, для составления системы условных уравнений (12) в методе дифференциальных поправок и для опре-

деления средин затмений. Вторая часть, команды 600–949, это программа решения системы условных уравнений (12) способом наименьших квадратов.

Значениям 1_i , Φ_i , a_i для средних точек ректифицированной кривой блеска в минимумах отведены соответственно ячейки 300–399, 400–499, 500–599. Для каждого затмения таблица должна начинаться с данных для середины минимума, при этом соответствующие значения n принимаются равными нулю, поскольку блеск $\lambda_{ГЛ}$, $\lambda_{ВТ}$ при фазовых углах 0 и π снимается со сглаженной кривой и эти точки не должны влиять на суммы S .

В ячейки 2050–2391, 2392–2733, 2734–3075 второй страницы ОЗУ записываются коэффициенты аппроксимационных полиномов соответственно для функций $D_{\alpha^{oc}}(k, p)$, $D_{\alpha^{tr}}(k, p)$, $X(k, q)$. С целью унификации вычислений все полиномы приведены к одинаковому виду:

$$\phi(h) = \sum_{j=0}^p a_j h^j \quad (13)$$

причем $h = q^{1/2}$, а

$$q = \frac{1}{2}(p+1), \quad (14)$$

$$q = (p+1)(1-k^{-1})^{-1} \quad (15)$$

соответственно для частных и кольцевых фаз затмений. Флигель и Вилсон (1968), а позднее и Минци (1970) вычислили коэффициенты аппроксимационных полиномов для "табличных" значений k , кратных 0.05. Лавров и Соколова (1975) нашли значения таких коэффициентов для k , кратных 0.01, причем как и у первых авторов $a_7 = a_1 = 0$ для $D_{\alpha^{oc}}$, $a_8 = a_7 = a_1 = 0$ для $D_{\alpha^{tr}}$ и $a_8 = a_7 = a_0 = 0$ для $X(k, q)$. Более густая сетка полиномов дает более широкие возможности для выбора опорных значений k . 342 ячейки, отведенные для каждого типа функций a , позволяют использовать коэффициенты для 38 опорных значений k . При k , кратных 0.05–0.03, в этих ячейках уместятся коэффициенты a_i для всего диапазона изменения k , при использовании же полиномов для k , кратных 0.01, массивы коэффициентов необходимо делить на две или три перекрещивающиеся части. В ячейке 2049 должно быть записано начальное (максимальное) значение k_0 , с которого начинаются соответствующие массивы коэффициентов, а в Я2048 должен быть указан шаг Δk . В описываемой программе $k_0 = 1$, $\Delta k = 0.02$, т. е. взяты коэффициенты для значений k , равных 1.00, 0.98, 0.96, ..., 0.28, 0.26.

В вычислениях используются следующие константы в форме с плавающей запятой: 0, 1, 2, 3, $10^3 - 10^4$, $10^3 - 10^5$, 9, 12, 20, которые записываются по порядку в ячейки 970–978. Номера ячеек, в которых сохраняются и хранятся результаты промежуточных вычислений, указаны в описании программы.

Исходная информация.

Исходные данные об элементах фотометрической орбиты записываются в ячейки:

- 42п — k , отношение радиусов дисков звезд;
 34п — r_2 , радиус диска меньшей звезды;
 80п — p_0 , геометрическая фаза затмения в середине главного минимума;
 85п — Φ_0 , фаза середины главного минимума в тех же единицах, что и Φ ;
 86п — z , коэффициент эллипсоидальности компонентов;
 87п — e , эксцентриситет орбиты;
 88п — ω , долгота периастра главной звезды в градусах;
 89п — $x_{гд}$, коэффициент потемнения к краю диска звезды, затмевающейся в главном минимуме;
 90п — $x_{вт}$, коэффициент потемнения к краю диска звезды, затмевающейся во вторичном минимуме;

В этих же ячейках получаются и окончательные результаты.

Информация, необходимая для управления процессом вычислений, должна быть размещена следующим образом:

- 70п — Δr_2 , величина шага по r_2 ;
 71п — Δe , величина шага по e ;
 72п — Δk , величина шага по k ;
 981п — N_1 , число точек в главном минимуме;
 982п — N_2 , число точек во вторичном минимуме;
 983п — N'_1 , число используемых точек главного минимума;
 984п — β , признак, определяющий методику вычисления функций $x_a(k, p)$:
 если $\beta = 0$, используются аппроксимационные полиномы,
 если $\beta = 1$ — точная методика, разработанная автором (Лавров, 1972);
 985п — $\Delta i \geq 1$, шаг изменения числа на счетчике точек. Обычно $\Delta i = 1$, но при разведочных вычислениях в обработку можно включить не все точки, а, например, только каждую j -ую, тогда $\Delta i = j$.
 986п — γ , признак, определяющий выбор весов уравнений (1), (12): при $\gamma = 0$, $w = a$, при $\gamma = 1$, $w = a i^{-2}$;
 987п — η , признак типа затмения в главном минимуме: для покрытий $\eta = 1$, а для прохождений $\eta = -1$.

При составлении уравнений (12) информация о Δr_2 , Δe , Δk , не нужна, зато требуется знание $\cos^2 i$ и L_1 . Эти данные записываются соответственно в ячейки 55 и 62. Для решения системы уравнений (12) способом наименьших квадратов необходимо еще задать:

- 992п — $N = N'_1 + N_2$, число условных уравнений;
 993п — a , число неизвестных.

Описание программы.

При описании программы основное внимание будет уделено операциям, управляющим процессом вычислений, т. к. именно они доставляют наибольшие затруднения как при составлении, так и при разборе программы. Читатель, знакомый с системой команд ЭВМ "Наири", самостоятельно разберется в блоках программы, посвященных вычислениям по тем или иным конкретным формулам, и при минимальном числе лишь самых необходимых комментариев.

1. Вычисление вспомогательных величин 1000–1144.

1. Подготовительные операции, 1000–1039. По командам 1001, 1006, 1015 в ячейки соответственно 60, 58, 57 записывается целое

число 3, представляющее собою минимальное число циклов вычислений S по k, e, r_2 . Одновременно по командам 1000, 1005, 1014 в ячейки 998, 997, 996 засылаются нули, которые в дальнейшем служат признаком продолжения вычислений в каждом из названных циклов. По команде 1002 значение e переписывается на рабочую ячейку (РЯ) 14 с целью облегчить в дальнейшем его использование в условных операциях, а затем управление отсылается к командам 1570–1574, откуда оно после печати текущего значения k возвращается к условной команде 1004. Если $e \neq 0$, то последующими командами подготавливаются к работе ячейки 997 и 58, значение ω переписывается на РЯ 76, в Я12 засылается 1, служащая в дальнейшем признаком решения уравнения (11), и управление передается в Я1012. Если же $e = 0$, то управление передается команде 1010, по которой в Я75 записывается 0, служащий в дальнейшем признаком решения уравнения глубин (5), а с целью не допустить решение уравнения (11) Я12 по команде 1011 очищается. Назначение нулей, засылаемых в Я11 и Я995, объяснено в разделах 1.7, 2.5, 4.7, 6, 7.2, 7.3, 4.8, 8. Командой 1016 очищается Я83: в случае круговых орбит там должен находиться 0 (см. 2.1). Далее, значение π из Я4132 ДЗУ переписывается для использования в РЯ32, в Я989 вычисляется величина 2π и попутно в Я98 заготавливается малое число ϵ .

Команды 1020–1021 формируют в Я991 значение шага считывания исходных данных $1, \Phi, \lambda$, согласованное с шагом счетчика, записанным в Я985.

По командам 1023–1031 вычисляется значение $Z = 50(k_0 - k)$, дробная часть которого z засылается в Я39 и в дальнейшем используется в интерполяционной формуле Ньютона (см. 3.5). Целая же часть Z используется для формирования в Я990 порядкового номера ячейки массива 2050–2391, начиная с которой записаны коэффициенты a_i аппроксимационного полинома $\phi(h)$ для ближайшего кратного 0.02 значения $k_1 > k$. Поскольку в двоичном коде не все значения k имеют точное представление, не всякий раз, когда k кратно 0.02, $z = 0$. Команды 1032–1038 служат для того, чтобы полагать в таких случаях искусственно $z = 0$, что позволяет сокращать вычисления, описанные в разделе 3.4. Для этого z сначала сравнивается с ϵ из Я98. Если $z < \epsilon$, то тогда мы полагаем $z = 0$, в противном случае с ϵ сравнивается $1 - z$. Если $1 - z < \epsilon$, то следовало бы считать $z = 1$, однако вместо этого лучше принять за k_1 следующее (меньшее) "табличное" значение $k_1 - 0.02$ и положить для него $z = 0$.

2. Вычисление L'_1 и $A(k)$, 1040–1065. Обозначим через L'_1 потерю блеска при внутреннем касании дисков во время прохождений в гипотезе D, а через $A(k)$ — разность $D_{\alpha_{max}}^{ann} - 1$. Как известно (Цесевич, 1947):

$$L'_1 = \Phi(k) \pi k^2, \quad (16)$$

$$\Phi(k) = \frac{1}{9\pi k^2} [12 \arcsin \sqrt{k} - (12 + 8k - 32k^2) \sqrt{k(1-k)} - 1], \quad (17)$$

$$A(k) = \frac{2\pi}{3L'_1} [1 - (1 - k^2)^{3/2}] - 1. \quad (18)$$

Значения L' и $A(k)$ оставляются на хранение соответственно в ячейках 81 и 988. Попутно здесь же вычисляются и оставляются на хранение в ячейках 95, 96 значения k^{-1} и k^2 .

3. Вычисление вспомогательных величин для эллиптических орбит, 1086–1088. Этот блок работает только при эксцентрических орбитах. Здесь вычисляются и оставляются на хранение в ячейках 97, 84, 93, 83, 94 вспомогательные величины $1-e^2$, $\sqrt{\frac{1+e}{1-e}}$, ω в радианах, M_0 для верхнего соединения звезды, затмевающейся в главном минимуме, вычисляется по формулам:

$$\begin{aligned} v_0 &= \frac{\pi}{2} - \omega, \\ \operatorname{tg} \frac{1}{2} E_0 &= \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \operatorname{tg} \frac{1}{2} v_0, \\ M_0 &= E_0 - e \sin E_0, \end{aligned} \quad (19)$$

в которых v_0 , E_0 значения истинной и эксцентрической аномалий в том же соединении. Если в Я12 находится 1, т. е. в данный момент решается уравнение (11), то управление передается в Я1318.

4. Вычисление $\cos^2 i$, 1089–1100. Этот блок пропускается, если в Я75 записано отрицательное число, что бывает только при составлении условных уравнений (12), когда исходное значение $\cos^2 i$ уже задано. В прямом же методе значение $\cos^2 i$ в общем случае вычисляется по формуле:

$$\cos^2 i = \left[\frac{(1+e \sin \omega)}{1-e^2} r_2 \left(p_0 + \frac{1}{k} \right) \right]^2. \quad (20)$$

5. Подготовка циклов вычислений О–С для главного минимума, 1101–1109. Здесь в Я92 записывается 1, служащая в дальнейшем признаком работы с главным минимумом, признак же типа затмения в нем переписывается для использования в РЯ15, а число точек на счетчик Я56. Затем очищаются ячейки 68, 64, 67, которые используются для организации выборки значений l_1 , Φ , n_1 , записи и выборки результатов промежуточных значений v_1 , $\sin^2 v_1$, x_{a1}^{oc} , x_{a1}^{tr} , для записи коэффициентов уравнений (12). И наконец, значение $x_{\Gamma 1}$ переписывается для дальнейшего использования на РЯ 63, а управление передается команде 1110. По окончании вычислений S для главного минимума управление возвращается (команда 1320) к пропущенной команде 1109, по которой на РЯ63 переписывается значение $x_{\text{вт}}$.

6. Вычисление X и r , 1110–1131. Здесь заготавливаются значения $X(x)$, необходимые для вычислений $x_a(k, p)$ в блоке 3.5, причем для покрытий:

$$x^{\text{oc}} = \frac{2x_2}{3-x_2}, \quad (21)$$

а для прохождений

$$x^{\text{tr}} = \frac{x_1 \Phi(k)}{1-x_1+x_1 \Phi(k)} \quad (22)$$

Значение $x_{1r}(k)$ вычисляется по формуле Ирвина (1967):

$$x_{1r}(k) = \frac{3-3x_1}{3-x_1} k^2 + \frac{2x_1}{3-x_1} \frac{3}{2} k^2 \Phi(k) \quad (23)$$

Величины X , $1-X$, r остаются на хранение в ячейках 36, 63, 82.

Выбор варианта вычислений — X^{oc} или X^{tr} , r — осуществляется условной командой 1116. Попутно с этими вычислениями константа, сформированная в Я990, переписывается на РЯ69, а в случае прохождений к ней прибавляется целое число 342, переносящее начало выборки коэффициентов a_1 в массив 2392–2733. При решении уравнения (11) блоки 1.6, 1.7 в соответствии с командой 1110 пропускаются.

7. Вспомогательные операции, 1132–1144. Нуль, записываемый в Я13, служит в дальнейшем признаком вычислений различных величин для середины затмений, а очищение Я73 необходимо для суммирования на ней взвешенных квадратов отклонений наблюдаемых потерь блеска от теоретически вычисленных. Команда 1135 передает управление в Я1198, если в Я75 записан 0, что бывает только при решении уравнения глубины.

Условная команда 1136 передает управление в Я1181, если в Я11 записана 1, что может быть только при не первом цикле вычислений $S(r_2)$. При первом цикле в Я11 в соответствии с командой 1012 бывает записан 0 и упомянутая условная команда не выполняется. Условная команда 1137 передает управление в Я1145, если в Я13 записана 1. При рассмотрении точек, относящихся к серединам затмений, в Я13 находится 0 и выполняются команды 1138–1143. С их помощью безо всяких вычислений и независимо от заданных значений $\Phi_{гл}$ и $\Phi_{вт}$ мы полагаем $\nu_{гл} = 0$, $\nu_{вт} = \pi$ (ячейка 37), $\sin^2 \nu_{гл} = \sin^2 \nu_{вт} = 0$ (ячейка 38). Выбор между главным и вторичным минимумами происходит по числу, находящемуся в Я92. Если там записана 1, то мы имеем дело с главным минимумом, если 0 — со вторичным. Т. к. ν и $\sin^2 \nu$ уже известны, команда 1143 передает управление в Я1176.

Вычисление ν и $\sin^2 \nu$, 1145–1184.

1. Вычисление средних аномалий или фазовых углов. По командам 1145–1149 происходит выборка очередного значения Φ_i и вычисление средней аномалии M по формуле:

$$M = M_0 + 2\pi (\Phi - \Phi_0). \quad (24)$$

Полученное значение M переписывается для дальнейшего использования в Я37. В случае круговых орбит $M_0 = 0$ (ячейка 83), а $M = \theta$, где θ — фазовый угол, и вычисления, описываемые в пунктах 2.2, 2.3, пропускаются (команда 1151).

2. Решение уравнения Кеплера. По командам 1152–1160 методом последовательных приближений решается относительно E уравнение Кеплера:

$$E_{i+1} = M + e \sin E_i. \quad (25)$$

В качестве исходного значения принимается $E_i = M$ и процесс продолжается до тех пор, пока разность $|E_{i+1} - E_i|$ не станет меньше значения ϵ ,

заданного в Я98 командой 1152. В случае необходимости можно вставить команду 1153, изменяющую это значение в ту или иную сторону в зависимости от точности анализируемой кривой блеска.

3. Вычисление истинных долгот. По окончании предыдущего цикла командами 1161–1167 осуществляется вычисление истинной долготы ν по формулам:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{1}{2} \nu &= \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \operatorname{tg} \frac{1}{2} E, \\ \nu &= w + \nu - \frac{\pi}{2}. \end{aligned} \quad (26)$$

Значение $\pi/2$ берется из Я10176, а результат — истинная долгота получается в Я37. При решении уравнения (11) команда 1168 передает управление в Я1381.

4. Ректификация фаз. По командам 1169–1175 происходит ректификация истинных долгот (фазовых углов θ) за эллипсоидальность компонентов по формуле Меррилла (Ресселл, Меррилл, 1952):

$$\sin^2 \nu_r = \frac{\sin^2 \nu}{1 - z \cos^2 \nu} \quad (27)$$

5. Хранение ν , $\sin^2 \nu_r$. Полученные значения $\sin^2 \nu_r$ (или $\sin^2 \theta_r$), а для эксцентрических орбит еще и ν , записываются на временное хранение соответственно в массивы 200–299, 100–199 (команды 1176–1179). При повторных циклах вычислений $S(r_2)$ в Я11 будет находиться 1 и команды 1135–1180 в соответствии с командой 1136 пропускаются, благодаря чему достигается экономия машинного времени, особенно существенная при $e \neq 0$. Команды 1181–1184 обеспечивают извлечение из памяти ОЗУ записанные там ранее значения $\sin^2 \nu_r$ (или $\sin^2 \theta_r$) и ν на Я37, 38.

3. Вычисление функций $\alpha(k, p)$, 1185–1276, 1478–1490, 1740–1893.

1. Вычисление p , 1185–1199. Значение геометрической фазы затмения p в общем случае вычисляется по формуле (Мартынов, 1971):

$$p = \left[\frac{1-e^2}{1-e \sin(\nu-w)} \right] \frac{1}{r_2} \sqrt{\cos^2 i + \sin^2 i \sin^2 \nu_r} - \frac{1}{k} \quad (28)$$

Для круговых орбит выражение, стоящее в квадратной скобке, пропускается. Вычисленное значение p хранится в Я50. Команда 1199 передает управление в блок 3.6 для вычисления функций α по точной методике, если в Я984 была записана 1. Если там находится 0, выполнение команд происходит в естественном порядке и вычисления α производятся с помощью аппроксимационных полиномов (13).

2. Сортировка p , 1200–1219. Команда 1203 проверяет условие $p < -1$. Если оно выполняется, т. е. диски звезд для рассматриваемой фазы Φ , перекрываются полностью, то управление передается в Я1208, в противном случае команда 1205 проверяет условие $p < 1$. Если последнее выполняется, т. е. в текущий момент затмение частное, то управление передается в Я1220, если не выполняется, то по команде 1206 зна-

чение x_a полагается равным нулю, после чего с помощью команд 1207 и 1210 управление передается в Я1275, являющуюся сборным пунктом для всех получаемых значений $x_a(k, p)$. При полностью перекрывающихся дисках затмения сортируются на покрытия и прохождения (команда 1208). Если в рассматриваемом затмении покрытие, то функция x_a^{oc} полагается равной 1 и управление передается в Я1275. Если же в рассматриваемом затмении прохождение, то проверяется условие $p > -k^{-1}$. Если это условие не выполняется, то по команде 1213 величине p приписывается минимальное из физически возможных значение $-k^{-1}$. Попутно с сортировкой производится вычисление на Я38 значений q по формуле (14) для частных фаз затмения (команды 1200–1203) и по формуле (15) для кольцевых фаз в случае прохождений (команды 1214–1217). В последнем случае для вычисления x_a^{ann} необходима выборка коэффициентов a_i аппроксимационных полиномов для $X(k, q)$, поэтому к целому числу, находящемуся в Я69, добавляется еще число 342, позволяющее перейти к выборке a_i из массива 2734–3075, а т. к. $U_a^{ann}(k, p) = 1$, то по команде 1219 вычисления, описываемые далее в разделе 3.3, пропускаются.

3. Вычисления $U_a(k, p)$, 1220–1242. При $1 > p > -1$ вычисления функций U_a^{oc} и U_a^{tr} происходят по следующим формулам (Лавров, 1972):

$$\begin{aligned} \delta &= 1 + kp, \\ x &= \frac{\delta^2 + k^2 - 1}{2\delta}, \\ y &= (k^2 - x^2)^{1/2} \\ U_a(k, p) &= \frac{1}{\pi k^2} [k^2 \arccos \frac{x}{k} + \arccos(\delta - x) - y\delta] \end{aligned} \quad (29)$$

В ячейке 35 получается значение $(1 - X) U_a$.

4. Вычисление $\phi(k, p)$ для "опорных значений" k , 1243–1251, 1478–1490. Здесь сначала по команде 1243 вычисляется значение $h = q/k$ и с ним трижды (команды 1244, 1248, 1250) происходит обращение к подпрограмме вычислений ϕ для опорных значений k_1 , $k_2 = k_1 - 0.02$ и $k_3 = k_1 - 0.04$. Весьма компактная подпрограмма, осуществляющая эти вычисления с помощью аппроксимационных полиномов (13) по схеме Горнера (Демидович и Маров, 1970), расположена в ячейках 1478–1490. Получаемые последовательностью значения $\phi_1(k_1, p)$, $\phi_2(k_2, p)$, $\phi_3(k_3, p)$ оказываются в ячейках соответственно 37, 41 и 93. После вычислений ϕ_1 командами 1246–1247 проверяется условие $z = 0$. Если оно выполняется, т. е. заданное $k = k_1$, то следующие обращения к подпрограмме вычисления ϕ бесполезны и поэтому управление по команде 1247 передается в Я1265. Команда 1251 и соответственно 1265 осуществляют восстановление в Я69 того значения числа, которое там было в момент первого обращения к подпрограмме 1478–1490.

5. Вычисление $x_a(k, p)$, 1252–1274. Полученные в предыдущем блоке значения ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3 интерполируются за заданное значение k по формуле Ньютона:

$$\phi(k, p) = \phi_1 + z(\phi_2 - \phi_1) + \frac{1}{2} z(z-1)[(\phi_3 - \phi_2) - (\phi_2 - \phi_1)], \quad (30)$$

и результат оказывается в Я38. Как показал опыт вычислений, учет вторых разностей достаточен не только при $\Delta k = 0.02$, но и при $\Delta k = 0.05$. Далее, после вычисления ${}^D\phi(k, p)X$ (команда 1267) проверяется условие $p < -1$. Если оно выполняется, то $\phi = X(k, q)$, и x_a^{app} вычисляется по формуле:

$$x_a^{\text{app}}(k, p) = 1 + X^{\text{tr}} A(k) X(k, p), \quad (31)$$

в противном случае $\phi = {}^D\alpha(k, p)$ и

$$x_a(k, p) = (1 - X) {}^U\alpha(k, p) + X {}^D\alpha(k, p) \quad (32)$$

Команда 1274 возвращает число в Я69 к исходному для случая прохождений значению, т. е. убирается то число 342, которое было прибавлено по команде 1218. По окончании вычислений $x_a(k, p)$ управление передается в Я1442, если в Я75 находится отрицательное число, в противном случае вычисления продолжают в естественном порядке.

6. Вычисление $x_a(k, p)$ по точной методике, 1740–1893. Программа этого блока аналогична программе, описанной ранее (Лавров, 1972). При переходе от режима автоматического программирования к ручному по техническим причинам пришлось изменить значения некоторых ячеек. Наиболее существенно изменение содержания ячеек, управляющих логикой вычислений. Так значения n из Я59 в этом блоке получили иной смысл, чем было раньше: значение $n=0$ всюду заменено на $n=1$, $n=1$ на $n=0$, $n=2$ на $n=-1$, а $n \neq 1$ на $n \neq 0$. Значения $x_a(k, p)$ получаются на основе вычисляемых по отдельности значений ${}^U\alpha(k, p)$ и ${}^D\alpha(k, p)$. Точность вычисления функций ${}^D\alpha(k, p)$ регулируется заданием числовых констант в командах 1866 и 1868. При подключении этого блока вычисления, описанные в пунктах 3.2–3.5, пропускаются. Управление из этого блока передается всегда в Я1275.

4. Вычисления теоретической кривой блеска, значений О–С и $S(\kappa_2)$, 1277–1342.

1. Вычисление наблюдаемых потерь блеска 1–L. С помощью команд 1277–1279 происходит выборка очередного значения 1 и вычисление 1–1, после чего управление передается в блок 6, если в Я75 находится 0.

2. Вычисление L_2 и L_1 . При вычислении $1-\lambda_{\text{ГЛ}}$ или $1-\lambda_{\text{ВТ}}$ в Я13 в соответствии с командой 1132 находится 0, и поэтому срабатывают команды 1284–1285. С их помощью по формуле (6) и (7) вычисляется потеря блеска в момент внутреннего касания дисков $x_1^{\text{tr}}(k)L_1$ или L_2 в зависимости от типа затмения. Эти значения оставляются на временное хранение в Я52. Для предотвращения других заходов на эти вычисления в Я13 по команде 1286 засылается 1.

3. Вычисление О–С. По командам 1287–1289 для каждой точки минимума вычисляются в зависимости от типа затмения величины $(1-1)_H - x_2^{\text{oc}}(k, p)L_2$ или $(1-1)_H - x_1^{\text{tr}}(k, p)L_1$, т. е. отклонения О–С от наблюдаемых потерь блеска от теоретической кривой. Для удобства печати эти отклонения по команде 1290 увеличиваются в $10^3 - 10^4$ раз.

4. Печать значений $x_a(k, p)$ и О–С, 1291–1297. Печать значений α и О–С происходит только при нажатой клавише "вариант". Если ключ не нажат, то она возможна только после окончания циклов приближе-

ний как по r_2 , так и по k , когда в ячейках 996 и 998 одновременно будут находиться единицы. При нажатом ключе печать возможна для каждого цикла вычислений по r_2 .

5. Вычисление $S(r_2)$, 1298–1307. Здесь значения $O-C$ возводятся в квадрат и умножаются на веса соответствующих точек n , если в Я986 записан 0 и на n^{1-2} , если там находится 1. Получаемые произведения суммируются на Я73.

6. Организация циклов вычислений $O-C$, 1308–1320. Прибавление по команде 1308 единицы к содержимому Я64 обеспечивает правильный порядок записи на временное хранение значений $\sin^2 i$, i , а также значений f и $O-C$ соответственно в блоках 2.5 и 7.2, а команда 1309 подготавливает их правильное считывание в тех местах программы, где они нужны. Я56 в команде 1311 служит счетчиком по вычитанию. Пока в ней находится целое положительное число, управление по команде 1312 возвращается в Я1136 для вычислений очередного значения $O-C$. После исчерпания точек в рассматриваемом затмении с помощью команд 1313–1314 выясняется, какой это был минимум. Если это был главный, то в Я92 после выполнения команды 1313 окажется 0, команда 1314 выполняться не будет и начнется подготовка к вычислениям $O-C$ для вторичного минимума (команды 1315–1319). Прежде всего изменяется знак перед содержимым Я15, а вычисленное значение $S_{гд}$ переписывается на хранение в Я74. На счетчик Я56 записывается число намеченных к использованию точек вторичного минимума, а Я68 подготавливается к управлению считыванием значений $1, \Phi, n$ для этих точек, после чего управление передается в Я1109. Если же вычисления закончены и для вторичного минимума, то по команде 1314 управление передается в Я1321.

7. Организация печати r_2 и S , 1321–1335. Здесь сначала значение $S_{вт}$ переписывается из Я73 в Я41, а в Я73 вычисляется сумма $S = S_{гд} + S_{вт}$. Команды 1324–1325 выполняются только в том случае, если содержимое Я11 не равно 0: в этом случае команда 1325 передает управление в Я1336, но при условии, если в Я75 находится отрицательное число. При не нажатом ключе печать значений $S_{гд}, S_{вт}, r_2, S$ в прямом методе происходит только в последнем цикле приближений по r_2 и для каждого значения r_2 в противном случае. В первом случае выходом на печать управляют команды 1327–1329, во втором – команда 1326. При составлении уравнений (12) в методе дифференциальных поправок, когда в Я75 постоянно находится отрицательное число (см. блок 7.1), печать срабатывает только при представлении наблюдаемых точек теоретической кривой, вычисленной с полученными элементами, и то при условии, если ключ нажат.

8. Операции управления, 1336–1342. Команда 1337 возвращает управление в соответствующую ячейку блока 7.1, управляющего составлением уравнений (12), если в Я75 находится отрицательное число. Команда 1339 обеспечивает выход в следующий блок, если в Я996 находится 0. Если же циклы вычислений по r_2 уже закончены и в Я996 записана 1, то управление передается в блок 5.2, если в Я995 находится 0, и в Я1620 в противном случае.

5. Вычисление элементов фотометрической орбиты, 1343–1380, 1491–1619.

1. Вычисление значений r_2 и $S(r_2) = \min$, 1343–1375. С помощью команд 1343–1345 в ячейках 77, 78, 79 накапливаются три последовательных значения $S(r_2)$. Участок программы 1349–1354 используется только после вычисления S_2 . Причем если $S_2 < S_1$, т. е. шаг по r_2 сделан в правильном направлении, то команды 1351–1354 пропускаются. Если же шаг сделан в неверном направлении, т. е. $S_2 > S_1$, то с помощью названных команд изменяется знак Δr_2 , делается один шаг назад, а значения S_1 , S_2 и их нумерация меняются местами. Команды 1355 обеспечивают в каждом цикле вычислений $S(r_2)$ новый шаг по r_2 , запись 1 в Я11 для ускорения вычислений $\sin^2 \nu$, ν (см. блоки 1.7, 2.5) и передаче управления в Я1375 и далее команде 1091, если число циклов еще не достигло трех, туда же, если число циклов уже равно трем или даже больше, но последнее значение S все еще меньше предыдущего. Если же три последних и последовательных значения S удовлетворяют условию (8), то по формуле (9) вычисляется значение r_2 , при котором $S(r_2)$ достигает минимума (команды 1361–1373), после чего управление возвращается также в Я1091, но, для того, чтобы новый цикл вычислений S оказался для данного e (или k , если $e = 0$) последним, в Я996 предварительно записывается 1.

Примечание. Участок программы 1361–1367 может использоваться и самостоятельно для параболической интерполяции значения некоторого аргумента x по значениям функции $y(x)$, заданным для трех равностоящих значений этого аргумента, на значение функции $y(x) = \min$. Для этого необходимо ввести в Я75 0, в Я76 $-(\Delta x)$, а в ячейки 77, 78, 79 последовательно y_1 , y_2 , y_3 и запустить машину с команды 1361. Минимального значения y будет достигать при $x = x_2 + \Delta x$. Величина Δx вычисляется по формуле аналогичной (9) и печатается по команде 1377. Выход из описываемого участка программы на печать происходит по команде 1369. В прямом методе эта команда не выполняется, т. к. при вычислении $S(r_2)$ в Я75 бывает записана 1. К интерполяции по этой программе приходится прибегать в целях экономии машинного времени при наличии разрозненных значений S_{r_2} , S_e , S_k , полученных в разные дни вычислений.

2. Вычисление значений e для $S(e, r_2) = \min$, 1491–1529. Управление в этот блок передается командой 1341 по окончании циклов вычислений S по r_2 . Блок в соответствии с командой 1492 пропускается, если $e = 0$. Программа этого блока аналогична программе блока 5.1. Накопление значений $S(e, r_2)$ производится в ячейках 957, 958, 959, а выход из циклов вычислений по e происходит после печати полученного значения e и записи 1 в Я997. Управление из этого блока всегда возвращается в Я1007.

3. Вычисление значения k для $S(k, e, r_2) = \min$, 1531–1574. Управление в этот блок передается командой 1494 по окончании циклов по e или командой 1492. По существу блок аналогичен двум предыдущим. Накопление значений $S(k, e, r_2)$ производится в ячейках 967, 968, 969, а выход из циклов вычислений происходит после печати полученного значения k и записи 1 в Я998. Управление из этого блока обычно пере-

дается в Я1004. Однако, если очередное значение k станет больше 1, то срабатывают команды 1548–1551. С помощью этих команд k полагается равным 1, величине Δk приписывается знак минус и после смены гипотезы о типе затмения в главном минимуме управление возвращается к началу программы. Таким образом, машина сама делает вывод о типе затмения в главном минимуме. Команда 1553 в прямом методе не выполняется, поскольку r_2 не может быть равно нулю. Однако, если мы умышленно положим $r_2 = 0$, то эта команда будет передавать управление в участок 1570–1573, где запрограммирована печать значений k . Этот прием используется при отдельном получении зависимости $p_0(k)$ из уравнения глубин (5).

4. Печать элементов фотометрической орбиты, 1575–1619. Управление в этот блок передается командой 1532 после окончания циклов по k , когда в Я998 записана 1. Здесь последовательно осуществляется печать значений $k, p_0, r_2, \cos^2 i, L_1, x_1, r(k), e, \omega$, при которых функция $S(k, e, r_2)$ достигает минимума. Последние два элемента печатаются при условии, что $e = 0$.

б. Решение уравнения глубин и уравнения эксцентриситета, 1381–1441.

Решение уравнения глубин (5) относительно p_0 при заданном значении k и решение уравнения (11) относительно ω при заданном значении e производятся по методу деления интервала пополам (Демидович и Марон, 1970) по одной и той же программе. Для того, чтобы это было возможно, производятся необходимые подготовительные операции. Так, испытываемое значение ω по команде 1007 переписывается на РЯ76, а с помощью команд 1381–1384 на Я35 вычисляется модуль левой части уравнения (11) для сравнения с 1. Для этих же целей вычисляется при испытываемом значении p_0 и левая часть уравнения (5). По команде 1385 испытываемое значение p_0 переписывается на РЯ76. Затем на РЯ99 по формулам (6) и (7) вычисляется величина L_2 , если в рассматриваемом затмении покрытие и L_1 , если прохождение, после чего проверяется для какого минимума были сделаны эти вычисления. Если для главного, то команда 1390 пропускается, значение $L_{Гл}$ переписывается на хранение в Я91, вычисляется (при $e \neq 0$) значение p_0^{III} .

$$p_0^{II} = \left(p_0^I + \frac{1}{k} \right) \frac{1 + e \sin \omega}{1 - e \sin \omega} - \frac{1}{k}, \quad (33)$$

и управление передается в Я1313 для захода на вторичный минимум. Если величина L получена уже из вторичного минимума, то по команде 1390 управление передается в Я1401. Здесь на Я35 и вычисляется значение $L_1 + L_2$ для дальнейшего сравнения с 1.

Обозначим разность между левой частью уравнений (5), (11) и 1 через y и вычислим ее на Я35. При первом заходе в этот блок в Я11 записан 0 и команда 1404 пропускается, что дает возможность заготовить в Я78 начальный шаг Δr_c или $\Delta \omega$ и одновременно сформировать в Я77 малое число ϵ , являющееся мерой точности y . После выполнения этих операций управление передается в Я1434. Там (команды 1434–1441) делается шаг по испытываемой переменной, полученное значение y переписывается на хранение в РЯ79, а в Я11 засылается -1 , чтобы

в дальнейшем обходить команды 1405–1410. Затем новое значение переменной переписывается на Я80, а управление передается в Я1091, если решается уравнение глубин, и на Я88 с передачей управления в Я1066, если решается уравнение (11). При втором и всех последующих заходах в описываемый блок команды 1405–1410 пропускаются и величина u с помощью команд 1411–1412 сравнивается по модулю с ϵ из Я77. Если $|u| > \epsilon$, то по команде 1427 вычисляется произведение u , полученных в данном и предыдущих циклах. Если $u_{i+1}u_i > 0$, т. е. знак u_{i+1} остался тем же, то команды 1429–1430 пропускаются, а по команде 1431 u_{i+1} и u_i сравниваются между собой по модулю. Если $|u_{i+1}| < |u_i|$, то шаги по испытываемой переменной происходят в правильном направлении, команда 1433 пропускается и снова начинает работать описанный выше участок программы 1434–1441. Если $|u_{i+1}| > |u_i|$, т. е. значения переменной удаляются от корня рассматриваемого уравнения, то с помощью команды 1443 направление шагов изменяется на обратное. Если же $u_{i+1}u_i < 0$, т. е. корень рассматриваемого уравнения захвачен в вилку, то с помощью команды 1429 шаг переменной уменьшается вдвое, а по команде 1433 его знак изменяется на обратный. В результате постепенного стягивания вилки значений переменной, для которых знаки u противоположны, в конце концов окажется, что $|u| < \epsilon$ и тогда работает участок блока 1414–1426. Здесь в зависимости от содержимого Я12 обеспечивается печать значений ω или p_0 . После печати ω управление передается в Я1010, а после печати p_0 проверяется условие $r_2 = 0$. Если оно выполняется, т. е. мы намерены решить уравнение глубин сразу для ряда значений k , то управление передается в Я1545 (см. блок 5.3). Если же $r_2 > 0$, то после записи 1 в Я75, что блокирует в дальнейшем новый заход на решение уравнения глубин, управление возвращается в Я1011.

7. Составление уравнения для дифференциальных поправок, 1660–1710, 1442–1477.

1. Операции управления, 1660–1710. По команде 1660 в Я75 записывается -1 , что служит в дальнейшем признаком составления уравнений (12). Команда 1661 передает управление в Я1668. После записи нулей в ячейки 11, 12 и переписи значения e на Я14 управление далее передается в Я1014 для вычислений и накопления в памяти значений f и $O-C$. При этих вычислениях работают описанные выше блоки 1–4. По окончании вычислений управление по команде 1337 возвращается в Я1672.

Дальнейшая программа управления состоит из стандартных участков. Вначале каждого из них заготавливается величина шага ΔE по рассматриваемому элементу, затем элемент изменяется на эту величину, выполняется операция, управляющая местом записи столбца коэффициентов $L \frac{\partial f}{\partial E}$, а затем управление передается в Я1014. После возвращения управления в рассматриваемый блок значение элемента возвращается в исходное состояние и все повторяется для другого элемента. Если поправка к какому-то элементу не включается в число неизвестных, то соответствующее обращение к команде 1014 должно быть забито холостым ходом.

2. Вычисление значений f и $O-C$, 1442–1463. Выход на эту подпрограмму осуществляется командой 1276. После выполнения команд 1443–1446 в ячейке 52 окажется значение L_1 , если в рассматриваемом затмении прохождение, и L_2 при покрытии. Эти команды выполняются только для середин затмений, пока в Я13 находится 0. Для предотвращения их постоянного выполнения в Я13 по команде 1443 вводится 1. Далее, после выполнения команд 1447–1448 в Я35 будет находиться значение $f = \alpha^{\circ c}$ для покрытий и $f = r \cdot \alpha^{tr}$ для прохождений. Т. к. при первом исполнении обращения и, 1014к66 (команда 1671) в Я11 находится 0, то команда 1449 не выполняется и с помощью команд 1450–1456 происходит вычисление $O-C$. Полученные значения f и $O-C$ отправляются далее на хранение на II страницу ОЗУ в столбцы, начинающиеся соответственно с ячеек 3888 и 3988, а управление все время возвращается в Я1290. Если клавиши "ключ" и "вариант" нажаты, то значения f и $O-C$ печатаются, в чем бывает необходимость при представлении наблюдений теоретической кривой. По исчерпанию точек управление по команде 1337 возвращается в ячейку 1672.

3. Вычисление $L \frac{\partial f}{\partial E}$, 1464–1477. При всех следующих исполнениях обращения и, 1014к66 значение числа в Я11 не равно нулю (команды 1676 и 1699) и поэтому по команде 1449 управление будет все время передаваться в Я1464. Здесь по командам 1464–1467 из памяти машины извлекается значение $f_{исх}$, которое далее (команды 1468–1470) используется для вычисления производной $\frac{\partial f}{\partial E} \approx \frac{f - f_{исх}}{\Delta E}$. Величина $L \frac{\partial f}{\partial E}$ печатается, если клавиша "вариант" нажата, а затем с помощью команд 1473–1476 отправляется на хранение. В исходном состоянии программы команда 1475 представляет собою холостой ход. При первом обращении к подпрограмме 7.3 на это место по команде 1675 будет переписана заранее заготовленная в Я1658 команда п 99 и 1030+, так что получаемые величины $L \frac{\partial f}{\partial k}$ будут записываться в "столбец", начинающийся с Я3078. При втором обращении эта команда с помощью команды 1681 изменится на п 99 и 1130+ и значения производных $L \frac{\partial f}{\partial r_2}$ будут записываться в "столбец", начинающийся с Я3178, и т. д. После окончания вычислений всех производных по команде 1708 команда 1475 возвратится в исходное состояние.

8. Поиск середин затмений, 1620–1657.

В блоке 7.1 предусмотрены начала еще двух видов вычислений. Начало 1666и используется в тех случаях, когда требуется сделать цикл вычислений S только по r_2 при заданных значениях k , p_0 , e . Признаком работы программы по этой схеме является отрицательное число в Я995. Это начало рекомендуется использовать при завершении прерванных ранее вычислений, а также при построении в осях k , p_0 "линий формы" для обеих минимумов сразу или по отдельности.

Начало 1662и относится к программе вычисления фаз середин затмений. Признаком осуществления этих вычислений служит 1 в Я995.

Шаг $\Delta\Phi_0$ заготавливается попутно командой 1664. Обычно он равен $\Delta\Phi_0 = 0.00097656$, но его величину можно регулировать изменением содержания упомянутой команды. Поиск фазы середины главного или вторичного минимумов основан на тех же принципах, что и поиск $S(r_2) = \min$. Значение Φ_0 , записанное в Я85, изменяется на величину $\Delta\Phi_0$ и каждый раз при предварительно найденных значениях k и p_0 вычисляется $S(r_2) = \min$ по программе прямого метода. По трем последовательным значениям S , удовлетворяющим условию (8) и вычисляется значение Φ_0 , при котором $S(\Phi_0, r_2) = \min$. Этот блок аналогичен блокам 5.1, 5.2, 5.3. Накопление значений $S(r_2)$ происходит в ячейках 952, 953, 954, а циклы организуются командами 1662–1665. Управление в этот блок передается по команде 1342 после окончания вычислений $S(r_2) = \min$ при условии, если в Я995 находится положительное число.

9. Способ наименьших квадратов, 700–949, 600–636.

В математическом обеспечении ЭВМ "Наири" К есть стандартная программа способа наименьших квадратов, но она не позволяет получать ошибки неизвестных. Кроме того, при ее использовании место коэффициентов условных уравнений в ОЗУ зависит как от числа уравнений, так и от числа неизвестных. По этим причинам в описываемой программе для решения условных уравнений (12) способом наименьших квадратов использована методика, разработанная Банахевичем (см. Копал, 1959). Однако, подробное описание этой довольно сложной в логическом отношении части программы заняло бы слишком много места. Ограничиваясь здесь лишь краткими комментариями, автор рассчитывает дать более подробное описание программы способа наименьших квадратов в другом месте.

1. Очищение ячеек. С помощью команд 700–703 производится очищение ячеек 100–180, в которых будут получены коэффициенты нормальных уравнений.

2. Вычисление вспомогательных величин, 704–717. Здесь в первую очередь в Я11 записывается 0, служащий в дальнейшем признаком составления и решения нормальных уравнений. Затем число N из Я992 переписывается на счетчик Я59, а в Я990 получается целое число $N-n$, которое с помощью команд 708–709 преобразуется в форму с плавающей запятой для его использования в блоке вычисления ошибок. Команды 710–713 формируют в ячейках 991, 995, 996 вспомогательные величины в форме целых чисел $n+1$, $2048n$, $2049n$. Далее в Я55, а затем и в Я1 засылается 0, а на счетчик числа точек в главном минимуме Я12 переписывается N' из Я983, после чего команда 718 передает управление в блок формирования условных уравнений.

3. Формирование условных уравнений, 600–636. Здесь коэффициенты каждого условного уравнения переписываются по порядку в ячейки 40–48, а веса n или $n1^{-2}$ на Я52 (команды 600–614). Поскольку при вычислении производных $\frac{\partial f}{\partial E}$ в блоке 7 все ΔE кроме Δk положительны, команда 615 изменяет знак $\frac{\partial f}{\partial k}$ L. Команды 616–622 обеспечивают сортировку значений $\frac{\partial f}{\partial x}$ для главного и для вторичного минимумов, при-

чем для главного минимума $\frac{\partial f}{\partial x_{BT}} = 0$, $\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\partial f}{\partial x_{ГЛ}}$, а для вторичного

$\frac{\partial f}{\partial x_{ГЛ}} = 0$, $\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\partial f}{\partial x_{BT}}$, кроме того по команде 620 изменяется знак f

перед ΔL_{BT} . А чтобы из решения всегда получались поправки ΔL_1 , независимо от типа затмения в главном минимуме, команды 623–626 организуют смену знака перед всеми f , если в главном минимуме покрытие. В ячейках 626–635 в исходном состоянии программы записаны холостые команды и это означает, что ищутся поправки Δk , $\Delta \tau_2$, $\Delta \cos^2 i$, $\Delta x_{ГЛ}$, Δx_{BT} , Δe , $\Delta \omega$, ΔL_1 . Если же некоторые элементы не подвергаются уточнению, то соответствующие коэффициенты при них должны быть исключены, а оставшиеся обязательно должны быть как и раньше расположены по порядку в ячейках 40+. Чтобы удовлетворить этому требованию, в ячейки 626–635 надо ввести команды, организующие соответствующую перепись коэффициентов. Например, при $e=0$ поправки Δe , $\Delta \omega$ не ищутся и поэтому надо ввести такие команды: 626 к: п 47 и 45, 627 к: п 48 и 46. По команде 636 управление возвращается в Я719 основной программы и если в Я11 находится 0, оно далее передается в Я737.

4. Составление матрицы нормальных уравнений, 737–759. Здесь каждый коэффициент a_i условного уравнения (12), выписанный на РЯ54 и умноженный на вес из Я52, поочередно умножается на все коэффициенты a_k ($k \geq j$), выписываемые на РЯ53. Получаемые произведения $c_{jk} = \sum w a_i a_k$ суммируются в ячейках 100+. Пока условные уравнения не исчерпаны, управление все время возвращается в Я717. В этом блоке 3 вложенных друг в друга цикла. Самый внутренний цикл – это перебор при данном a_i всех a_k для $k \geq j$ (команды 742–752), затем идет перебор всех a_i для j от n до 0 (команды 737–741, 753–754) и наконец внешний – перебор всех условных управлений (команды 755–757). Поскольку матрица коэффициентов нормальных уравнений симметрична относительно диагональных элементов, т. е. $c_{ki} = c_{ik}$, значения c_{ki} для $k > i$ в целях экономии времени не вычисляются, а вычисленные коэффициенты c_{jk} сдвигаются так, чтобы в матрице 100+ не было пустых ячеек. Переадресация коэффициентов c_{jk} , организуемая специальной подпрограммой 931–938, позволяет таким образом экономить $\frac{1}{2}n(n+1)$

ячеек. После исчерпания условных уравнений управление передается в блок 9.6, если в Я11 записана 1 и очередной команде, если в Я11 находится 0. Подпрограмма 940–948 организует перепись матрицы 100+ на хранение в ячейки 200+.

5. Решение нормальных уравнений, 760–886. Здесь запрограммирован метод решения нормальных уравнений, разработанный Ван хе-вичем (см. Копал, 1959). Значения неизвестных $x_1, x_2, \dots, x_n$ печатаются (команды 858–864) по мере их вычисления и отправляются на хранение соответственно в ячейки 91, 92 и т. д. Описываемый вариант программы рассчитан на число неизвестных не более 9. Незначительные переделки позволяют довести число неизвестных до 11.

6. Представление условных уравнений, 887–898, 719–736. Представление условных уравнений полученными неизвестными возможно толь-

ко при нажатом ключе. Только в этом случае управление по команде 897 передается в участок программы 889–891, где в Я11 записывается 1, служащая в дальнейшем признаком выполнения представления, очищается Я53, на которую будут суммироваться взвешенные квадраты отклонений $S = \sum w_i (O-C)_i^2$, после чего управление возвращается в Я705 для организации повторной выборки коэффициентов условных уравнений (блоки 9.2, 9.3). Поскольку в Я11 находится 1, команда 719 не выполняется и по командам 720–729 происходят вычисления $O-C$, которые для удобства увеличиваются в 10^3-10^4 раз и печатаются, если клавиша "вариант" нажата, а затем возводятся в квадрат, умножаются на веса и полученные произведения суммируются на Я53. После исчерпания условных уравнений управление по команде 758 возвращается в Я892. Здесь полученная сумма S печатается. С целью контроля правильности вычислений здесь же (команды 896–897) печатается и аналогичная по смыслу сумма $S' \approx S$, полученная в Я79 из решения нормальных уравнений в блоке 9.5.

7. Вычисление ошибок неизвестных, 899–929. Этот блок в соответствии с командами 894–895 работает только при $N > n$. Здесь сначала вычисляется вероятная ошибка единицы веса σ_0 , а затем и вероятные ошибки всех неизвестных δx_i , которые печатаются.

8. Организация циклов. Полученные дифференциальные поправки с помощью специальной подпрограммы (или вручную) прибавляются к исходным элементам и если необходимо, весь цикл составления и решения уравнений (12) повторяется снова и снова, пока поправки не станут исчезающе малыми. По той же подпрограмме организуется преобразование элементов при смене типа затмения в главном минимуме, что особенно важно при анализе систем с почти одинаковыми размерами компонентов, а также отсекаются физически нереальные значения некоторых неизвестных: при получении $\cos^2 i < 0$, $x_1 > 1$, $x_2 > 1$ принимается $\cos^2 i = 0$, $x_1 = 1$, $x_2 = 1$.

10. Вспомогательные программы.

На разных этапах решения описанной задачи выполняется ряд сравнительно простых вычислений, таких как

- а) вычисление контрольных сумм для проверки правильности размещения в ОЗУ как всего комплекса программ, так и его отдельных блоков;
- б) перевод звездных величин в интенсивности;
- в) представление кривой блеска вне затмений рядом Фурье и вывод коэффициентов ректификации;
- г) ректификация интенсивностей;
- д) округление чисел до нужного знака после запятой.

Кроме того в некоторых случаях к основному комплексу программ приходится делать небольшие приставки, например для поиска третьего света L_3 в системе, для поиска поправки ΔU к принятой единице интенсивностей, для отдельного учета положения середины вторичного затмения. Поскольку программы таких вычислений и приставок элементарны, они в целях экономии места не приводятся. Более сложные изменения в комплексе: переход к модели шар-эллипсоид, учет нелинейности в законе потемнения дисков звезд к краю требуют отдельного рассмотрения.

Работа описанного комплекса программ многократно проверена при анализе кривых блеска хорошо изученных систем S Snc, YZ Cas, W Del, MR Cyg, TX Her, V477 Cyg, V1143 Cyg и других. Отладка программ и контрольные вычисления выполнены на ЭВМ "Наири" К. Автор пользуется случаем выразить благодарность дирекции АОЗ за предоставление машинного времени. Автор благодарен также мл. науч. сотруднику АОЗ Н. В. Лавровой за помощь на всех этапах выполнения этой работы.

Литература:

- Вилсон и Дэвинней, 1971 — Wilson R.E., Devinney E.J., ApJ 166, 605.
 Вуд, 1971 — Wood D.B., AJ 76, 701.
 Горак, 1970 — Horack T.B., AJ 75, 1116.
 Демидович Б. П., Марон И. А., 1970, Основы вычислительной математики, Москва, "Наука", главы 3, 4.
 Ирвин, 1947 — Irwin J.B., ApJ 106, 380.
 Ирвин Дж. Б., 1967, в кн. "Методы астрономии" под ред. В. А. Хилтнера, Москва, "Мир", глава 24.
 Лавров М. И., 1970, АЦ 594, 7.
 Лавров М. И., 1971а, АЖ 48, 951.
 Лавров М. И., 1971б, АЦ 656, 5.
 Лавров М. И., 1972, ПЗ 18, 348.
 Лавров М. И., Соколова Н. Г., 1975 (в печати).
 Мартынов Д. Я., 1971, в кн. "Затменные переменные звезды" под ред. В. П. Цесевича, Москва, "Наука", глава 9.
 Минци, 1970 — Minti, Studii si cerc. de astron. 15, 61.
 Нельсон и Дэвис, 1972 — Nelson B., Davis W.D., ApJ 174, 617.
 Рессел и Меррилл, 1952 — Russell H.N., Merrill J.E., Princ. Contr. № 26.
 Флигель и Вилсон, 1968 — Fliegel H.F., Wilson R.E., AJ 73, 42.
 Цесевич В. П., 1947, в кн. "Методы изучения переменных звезд", Гостехиздат, М.—Л., главы 4, 5.
 Черепашук А. М., 1971, в кн. "Затменные переменные звезды" под ред. В. П. Цесевича, Москва, "Наука", глава 8.
 Шульберг А. М., 1971, "Тесные двойные звездные системы с шаровыми компонентами", Москва, "Наука", глава 6.

Казанский университет,
кафедра астрономии

Поступила в редакцию
9 июля 1974 г.

1000κ n0κ998 n3n60 n87m14 e,566n e,5n=14 n0κ997 n3n58 n1n12 n88m76 e,2n	1050κ bn99m98 n42m99 o896m99 κn99m81 yn98m81 bn20m81 og976m81 n96m98 bn971m98 κn98m99	1100κ x0n n1n92 n987m15 n983m56 n0n64 n0n67 n0n68 n89m63 e,1n n90m63	1150κ n38m37 e,17n=14 n1n98 x0n sn37m50 yδ87m50 cc38m50 bc37m99 n50m37 bn98m99	1200κ n50m59 cn971m59 b,1n38 e,4n< bδ972m59 e,14n> n0n35 e,2n e,2n<15 n971m35	1250κ u,1478κ65 827n69 n37m99 bn41m99 bn98m41 o899m41 bδ39m971 yc41m yc39m b,1n38
n0n75 n0n12 n0n11 n0κ995 n0κ996 n3n57 n0n83 n4132m32 e,1κ989 b,26n98	yn99m98 bδ971m98 yc989m gn973m gc81n bc971m988 e,22n=14 n87m99 cc971m98 bn971m99	e,34n>12 n63m36 bn973m36 gn63m36 c1n36 n990m69 e,13n>15 c342n69 bδ971m63 yc32n	e,16377n> b1n50 tg50m50 yn84m50 at50m50 c1n50 cδ93m50 bc10176m37 e,212n>12 sn37m38	e,64n cδ95m50 e,1n> on95m50 n95m99 bn971m99 cδ971m50 gc99m38 c342n69 e,23n	yδ39m99 cc38m cc37m38 x0n e,2n b9n69 n37m38 yn36m38 cδ971m50 e,2n<
n985m991 δ11κ991 x0n z,256κ bδ1m42 yc0n39 z,0n gn39m39 n39m990 ym9κ990	yc98m97 gn98m99 κn99m84 gδ88m978 gc976m yc32m93 c,1n99 bn32m99 b2n99 t899m99	yc96m36 n81m99 yn63m99 cn99m36 gn99m36 yn973m99 bδ973m63 yc36m yc32m82 gn99m82	yn38m38 yc86m99 e,3n=14 o886m99 cn971m99 og99m38 n64m1 e,1n=14 n37m100+ n38m200+	yδ42m50 cc971m37 yc37m cc96m bc971m gc37m b,1n41 yc95m98 ac98m98 yn96m98	cn38m35 e,3n yδ38m988 cc971m35 b342n69 n75m e,165n< n68m1 n300m99+ bn971m99
n0n39 n939κ39 bδ98m39 e,4n> bδ971m39 bc98m e,2n> c9m990 n0n39 x0n	og84m99 at99m99 c1n99 sn99m83 yn87m83 bn99m83 sn93m94 yn87m94 e,229n>12 n75m	n36m63 bn971m63 n0n13 n0n73 n75m e,62n=14 e,44n>11 e,7n>13 n0n37 n0n38	e,4n n67m1 e,1n=14 n100m37+ n200m38+ bδ971m55 yc38m cc55m99 κn99m50 og34m50	n41m35 yn35m35 bn96m35 κn35m35 yn37m35 bn98m35 bn37m41 ac41m41 cδ41m35 gc32m	x0n n75m e,102n=13 e,3n>13 n35m52 gn99m52 n1n13 n35m41 yn52m41 bn99m41
n42m95 e,3n99 gn971m95 κn42m20 e,20m20 yn977m20 cn977m99 n42m96 yn96m96 e,5n98	e,10n< n80m50 cδ95m50 yc34m55 e,3n=14 cδ971m94 yc55m gc97m55 yn55m55 x0n	n92m e,1n> n32m37 e,32n x0n n68m1 bδ400m85+ x0n yc989m cc83m38	e,6n=14 o893m37 sn37m37 yn87m37 bn971m37 gn97m37 yn37m50 o895m50 n984m u,1740n>	gc96m yc63m35 x0n κn38m38 u,1478κ65 n98m37 n39m e,17n=14 u,1478κ65 n98m41	yn974m41 u,1295n n996m998 e,1n> e,3n nn35m51 nn41m11 o2274m1 yn41m41 n68m1

1300K yn500m41+ n986n e,3n= og300m41+ og300m41+ X0n cn41m73 c1n64 c2048n67	1350K e,4n< on70m70 n78m79 n73m78 cn70m34 cn70m34 n1n11 B1n57 e,16n> Bb73m78	1400K e,16296n n99m35 cn91m35 ob971m35 e,6n=11 n972m78 B,19n77 e,1n>12 B8n78 e,24n	1450K n68m1 n300m99+ Bn971m99 X0n n35m41 yn52m41 Bn99m41 n64m1 a,512n n35m1840+	1500K e,6n= Bb73m958 e,4n< on71m71 n958m959 n73m958 cn71m87 cn71m87 X0n B1n58	1550K on987m987 e,15831n n34n e,16n= B1n60 e,14n> Bb73m968 e,12n< ob968m967 n967m37
c991m68 B985m56 e,16207n> B1n92 e,6n< on15m15 n73m74 n982m56 n981m68 B11n68	e,14n< ob78m77 n77m37 ob78m79 ob79m77 cn79m37 gn77m37 B1n37 n75n e,6n=	X0n n77m99 Bm35m99 e,13n< e,3n>12 o2229n o2201n e,1n o2231n o2250n	X0n n41m1940+ a,0n e,16210n n67m1 a,256n n1840m99+ a,0n Bb35m99 gc76m99	e,14n> Bb73m958 e,12n< ob958m957 n957m37 ob958m959 ob959m957 cn959m37 gn957m37 B1n37	ob968m969 ob969m967 cn969m37 gn967m37 B1n37 yob72m37 cc42n Bb72m42 ob72m42 n1k998
e,16172n n73m41 cn74m73 e,2n=11 n75n e,10n< u,1330n n996n e,1n> e,6n	yob70m37 cc34n Bc70n Bc70m34 n1k996 e,16099n yn37m76 nn76m6 o2274n X0n	nn76m6 o2274n e,15971n>12 n34n e,120n= n1n75 e,15968n yob35m79 e,2n> B1n78	yn52m99 nn99m51 o2274m1 n64m1 a,512n X0n a,0n e,16214n n9n59 n0n98	yob71m37 cc87n Bc71n Bc71m87 n1k997 o2227n o2250n nn87m6 o2274n e,15861n	o2248n o2250n nn42m6 o2270n e,15813n o2248n o2250n nn42m6 o2270n o2229n
nn74m1 nn41m1 o2274n nn34m5 nn73m1 o2274n n75n u66n< n996n e,3n=	X0n n37m35 og32m35 Bm970m35 e,18n n80m76 og35m99 e,1n>15 og82m99 n92n	e,2n Bm35m79 e,1n> on78m78 cn78m76 n4120m11 n35m79 e,2n=12 n76m88 e,16010n	B11n69 yn38m98 n69m1 a,256n cn2m98+ a,0n c2048n69 B1n59 e,16376n> a11n69	X0n n999n e,42n> n968m967 n969m968 n73m969 n60n B,2n e,6n= Bb73m968	o2201n o2250n nn80m6 o2274n o2224n o2203n o2250n nn34m6 o2270n o2212n
n995n e,149n= e,277n n78m77 n79m78 n73m79 n57n B,2n e,6n= Bb73m78	e,10n= n99m91 e,7n=14 cn95m50 n94m99 Bn971m99 cB971m94 gc99n yc50n Bc95m50	n76m80 e,16033n e,4n>13 n1n13 n62m52 e,2n<15 Bn971m52 e,1n>15 yn62m35 e,14n=11	u65n X0n e,38n=14 n997n e,36n> n958m957 n959m958 n73m959 n58n B,2n	e,4n< on72m72 n968m969 n73m968 cn72m42 cn72m42 Bb971m42 e,4n> n971m42 on72m72	o2226n o2232n o2188n o2246n o2250n nn55m7 o2274n e,2n>15 og82m52 e,1n

1600K Bn971H52 n52H62 o2228H o2250H nn62H5 o2270H o2233H o2250H nn82H7 o2274H	1650K Bc76H85 o2239H o2201H o2250H nn85H6 o2274H KOH KOH n99H1030+ KOH	1700K c100K1475 u,1014K66 o876H87 c8n76 cn76H88 c100K1475 u,1014K66 o876H88 n0K1475 o2274H	1750K e,4n c850H971 e,6n> e,2n<15 n971H35 e,133n c895H50 e,1n> on95H50 n46H47	1800K n0n38 n0n35 n32H54 n42H41 cn43H41 n33H36 yn36H36 Bn971H36 kn36H99 yn99H36	1850K cc99H yc65H cc40H40 n59H e,16n< n0n59 n38H44 n35H51 n36H37 n33H39
e,8n=14 o2227H o2250H nn87H6 o2270H o2231H o2250H nn88H4 o2274H KOH	n4120H75 e,6n n3n58 n971H995 B,10n76 e,1n n4120H995 n1n75 n0n11 n0n12	KOH KOH KOH KOH KOH KOH KOH KOH KOH KOH	gn42H47 yc47H61 y850H42 cc971H43 yc43H99 B850H971 yc47H cc971H33 cc42H cc42H45	n59H e,17n= n46H49 yc33H49 yc49H49 cc61H gc43H gc972H41 yc41H Bc49H35	n54H48 n8192H99 B833H99 yc10176H99 cc99H99 e,2n<15 yn4096H99 e,1n yn3584H99 cn99H33
n995H e,163H1n< n953H952 n954H952 n73H954 n58H B,2n e,6n=	n87H14 u,1014K66 n57H B,11n76 o876H42 n1658H1475 n1n11 u,1014K66 cn76H42 B2n76	KOH KOH KOH KOH KOH KOH KOH KOH KOH KOH	Bn99H61 n46H41 yn33H41 n1n59 Bn970H33 n0n40 n0n51 n0n54 n0n48 n0n39	on35H35 kn35H35 n41H gc46H gc33H38 Bc38H38 B843H41 gc47H54 Bc54H54 B833H39	e,16300n KOH e,3n<15 g840H53 gc32H40 e,5n o981H40 c8971H50 e,2n> n971H35
on76H76 n953H954 n73H953 cn76H85 cn76H85 KOH B1n58 e,30n> B873H953 e,28n<	on76H34 c180K1475 u,1014K66 o876H34 B2n76 cn76H55 c100K1475 u,1014K66 o876H55 c7n76	KOH KOH KOH KOH KOH KOH KOH KOH KOH KOH	n0n44 n0n38 n0n35 n971H37 n41H e,1n> n32H38 e,2n>15 B8971H45 e,6n>	gc973H cc39H99 yc99H65 Bn971H65 kn65H65 Bc37H36 yc38H yc53H cc40H40 B835H51	e,8n yn49H38 yn43H35 y847H54 yc47H cc38H Bc35H gc32H gc96H35 yn63H35
o8953H952 n952H37 o8953H954 o8954H952 cn954H37 gn952H37 B1n37 y876H37 cc85H Bc76H	cn76H89 cn76H90 c100K1475 u,1014K66 ob76H89 o876H90 e,11n=14 B3n76 cn76H87 n4120H11	e,2n<15 n42H46 e,1n n971H46 y8972H46 yc46H gc973H53 B850H971 e,2n< n0n35	B8971H33 e,13n> n4120H59 n971H33 n0n36 e,16n B845H33 e,7n> n4120H59 n45H33	yc43H98 n39H99 yc46H99 yc99H99 B838H44 yc99H Bc98H99 B854H48 yc47H yc47H	B8971H63 yc40H cc35H35 u1275n KOH KOH KOH KOH KOH KOH

600к з,256л п1030м40+ п1130м41+ п1230м42+ п1330м43+ п1430м45+ п1530м46+ п1840м47+ п1940м48+ з,0л	700к п80п1 п0к100+ б1п1 е,16381п> п0п11 п992м59 х0м в,993м990 п0к991 м990к990	750к б2048п58 в,57м е,16374п> б2048п57 е,16367п> с2048п55 б1п59 е,16343п> е,133п=11 у,940к66	800к м58м57 е,9п= п57м77 п57м78 у,931к66 б11п74 п74м1 ог100м79+ п73м1 п79м100+	850к п55м74 б,11п1 сн40м54+ с1п55 в,58м е,16378п< м58м993 е,10п= п57м1 б11п1	900к кп79м79 уп44204л79 п0п57 п0п54 п57м58 п57м77 п58м78 у,931к66 б,11п1 с,74м1
п500м52+ п986м е,2п=	п993м995 с,1к991 б11к995 с,993м996	кп100м100 п993м1 ог100м100+ б1п1 е,16381п> п1п57 п57м58 п58м56 п57м55 б1п55	е,2п п73м1 кп79м100+ с1п58 в,993м е,16336п< с1п57 в,993м е,16331п< х0м	о2220м о2202м+ о2250м пн54м6 о2274м п57м1 п54м91+ е,15п п58м77 п58м78	уп100м100+ в74м1 сн100м54+ с1п58 в,993м е,16373п< кп54м54 уп79м54 п57м1 б11п1
ог300м52+ ог300м52+ он40м40 б1п12 е,4п> п43м44 п0п43	п983м12 п0п55 б11п55 п55м1 у,600к66 е,17п=11	п55м77 п56м78 у,931к66 б11п74 с,55м1 п100м40+ б1п55 е,16376п> п57м55 б1п55	п0п57 п57м58 п57м77 п57м78 у,931к66 п74м1 гп6127м100+ с1п58 п0п54 п57м55	у,931к66 б11п74 п74м1 ог100м54+ бп5711м54 п57м77 п58м78 у,931к66 п74м1 п54м100+	о2222м о2220м о2202м+ о2250м пн54м6 о2274м с1п57 в,993м е,16358п< к0м
он47м47 е,1п п0п44 п987м е,1п< он47м47 х0м х0м х0м х0м	п996м1 уп90м39+ б2049п1 е,16381п> п995м1 п40м54+ б2048п1 о840м54+ б2048п1 е,16381п>	п55м77 п58м78 у,931к66 б11п74 с,55м1 п100м40+ б1п55 е,16376п> п57м77 б,1п55	п55м77 п58м78 у,931к66 б11п74 с,55м1 п100м40+ с1п55 в,58м е,16375п< п57м55	с1п58 в,993м е,16329п< с1п57 в,993м е,16319п< о2268м у,889п е,5п п0п53	х0м п77м74 с,1п75 ум991м74 с78м74 ум77м75 а1п75 в75м74 у66п х0м
х0м х0м х0м х0м х0м у66п х0м х0м х0м х0м	уп974м54 пн54м11 о2274м1 уп54м54 уп52м54 сн54м53 е,18п п995м57 п57м1 а,11п77	п58м78 у,931к66 п74м73 б,11п1 п100м79+ б11п55 п55м1 о840м79+ б2048п1 е,16381п>	п57м77 п55м78 у,931к66 б11п74 с,55м1 уп100м40+ с1п55 в,58м е,16375п< п57м55	п1п11 е,16197п пн53м1 о2274м п990м е,33п< пн79м9 о2274м о2268м ог990м79	п80п55 б,11п1 с55м1 п100м200+ б2049п1 е,16381п> п993м997 п0к950 у66п х0м