

Определение периодов эффекта Блажко двух переменных звезд  
типа RR Лиры в шаровых звездных скоплениях  
с помощью ЭВМ

В. П. Горанский

В статье предлагается алгоритм для поиска вторичной периодичности (периодичности в изменении формы кривой блеска) переменных звезд на ЭВМ. Новый метод был использован для определения периодов эффекта Блажко двух переменных звезд типа RR Лиры в шаровых скоплениях. Период эффекта Блажко звезды V30 в M 53 уточнен и составляет  $37^d.61$ . Период эффекта Блажко V2 в M 5 равен  $132^d.38$ .

The Computer Determination of Periods of Blazhko-Effect  
(Amplitude Variation) of Two RR Lyrae Variables  
in the Globular Clusters

by V. P. Goranski

The new algorithm of the computer search of the secondary periodicity (the periodicity of variations of the light curve form) for the variable stars is presented in this paper. The principle of new method is based on the separation of the light curves corresponding to the different intervals of phases of trial secondary period and computation of summary  $\theta'$ -parameter like  $\theta$ -parameter by Kholopov (1970).

The computer program was applied to improve the period of Blazhko-effect of the RR Lyrae variable No. 30 in the globular cluster M 53 (NCC 5024) and to determine this one for the variable No. 2 in M 5 (NCC 5904). These periods determined anew are  $37^d.61$  and  $132^d.38$  approximately.

*1. Алгоритм поиска периодичности изменения формы кривой блеска пульсирующих переменных звезд.*

Задача определения периода изменения формы кривой блеска часто встречается в практике исследования переменных звезд. У переменных звезд типа RR и RRs периодически меняется амплитуда изменения блеска, фаза и высота максимума (эффект Блажко). Цикличность в изменениях формы кривой блеска известна у некоторых затменных переменных звезд ( $\beta$  Лиры) и у рентгеновского источника — тесной двойной звезды HZ Her. Определение вторичных периодов у таких звезд вручную представляет собой довольно сложную задачу, требующую

высокоточных и систематически проводящихся наблюдений и кропотливого труда. Поэтому период эффекта Блажко у переменных звезд типа RR Лиры поля определен всего лишь для двух-трех десятков звезд, а у переменных звезд типа RR Лиры в шаровых скоплениях он известен всего лишь в двух случаях (Вахман, 1968, Зейдль, 1965).

Первые попытки решить эту задачу на ЭВМ были сделаны Григоревским и Мотрич (1973). Для этих целей часть программы для обработки наблюдений по методу Герцшпрунга, которая приводит к стандартной кривой блеска все наблюдения, производящиеся в различных фотометрических системах. Так как амплитуда и средний блеск у звезды, обладающей эффектом Блажко, меняются, то, естественно, коэффициенты  $k$  и  $b$  в уравнении  $m_{\text{станд.}} = m_{\text{набл.}} \cdot k + b$  должны меняться. Исследуя периодичность коэффициентов  $k$  и  $b$  с помощью программы поиска периода по методу Лафлера - Кинмана - Холопова можно получить период эффекта Блажко. Такой метод, а также метод определения периода эффекта Блажко по значениям блеска в максимуме требует систематических наблюдений, охватывающих либо большие участки кривых блеска, либо участки кривых блеска, охватывающие моменты максимума блеска.

В настоящей работе предлагается алгоритм для вычисления периода эффекта Блажко по произвольно расположенным по времени наблюдениям. Предлагаемый алгоритм можно применять при обработке наблюдений относительно низкой точности (со среднеквадратичной ошибкой каждого измерения, составляющей даже  $0.2^m - 0.3^m$ ). Вычисление вторичного периода производится либо по всей кривой блеска, либо по тому ее участку, на котором изменения формы кривой блеска, обусловленные эффектом Блажко, заметны и превосходят ошибки наблюдений.

Принцип счета состоит в том, что для каждого значения пробного вторичного периода  $P_B$  все наблюдения разделяются по фазам вторичного периода на  $N$  частей, ( $N$ -целое число,  $N \geq 3$ ), производится сортировка по фазам основного периода для каждой части наблюдений и вычисляется суммарный параметр  $\theta'$ , подобный параметру  $\theta$  в программе Х-3а (Холопов, 1970). Параметр  $\theta'$  представляет собой нормализованную сумму квадратов отклонений каждой последующей точки кривой блеска от предыдущей по фазе точки. Так как для реального значения периода эффекта Блажко в каждом массиве наблюдений, соответствующем узкому интервалу фаз эффекта Блажко, не содержится рассеяния наблюдений, вызванного самим эффектом Блажко, величина  $\theta'$  резко уменьшится и уменьшение величины  $\theta'$  является признаком, по которому ЭВМ выдает значение периода, соответствующее минимальному  $\theta'$  на печать.

Этот алгоритм прост для программирования. Программа была составлена на языке АЛГОЛ для транслятора ТА-1М для ЭВМ БЭСМ-4М.

Дадим краткое описание последовательных операций, осуществляемых при работе программы.

1. Ввод массива исходных параметров  $A$  и массивов наблюдений  $M$  (звездных величин) и  $JD$  (юлианских дат). Массив  $A$  содержит следующие исходные параметры.

$P_0, T_0$  — основной период и момент максимума.

$T_B$  — момент максимальной амплитуды (можно использовать момент самого яркого блеска).

$P_B(max), P_B(min)$  — пределы, в которых производится поиск вторичного периода.

$\phi(min), \phi(max)$  — пределы фаз основного периода, в которых изменения формы кривой блеска незаметны на фоне ошибок наблюдений. Такие наблюдения исключаются из расчетов. При необходимости использовать все наблюдения, эти значения фаз приравняются нулю.

$\Delta\psi$  — максимальный сдвиг фаз между самыми ранними и самыми поздними наблюдениями, необходимый при определении шага пробного обратного периода  $P_B^{-1}$ .

$N$  — число частей, на которое делятся все наблюдения по фазам пробного вторичного периода.  $N \geq 3$  и выбирается таким, чтобы в каждую часть входило по 50 — 60 наблюдений.

$n$  — полное число наблюдений.

$\theta'_0$  — значение параметра  $\theta'$  ниже которого программа производит поиск минимального значения  $\theta'(min)$  и выдачу этого значения и соответствующего ему значения  $P_B$  на печать. Для глазомерных фотографических наблюдений этот параметр приравнивается 0.5.

2. Вычисление величины шага пробного обратного периода по формуле:

$$\Delta P_B^{-1} = \Delta\psi / [JD(max) - JD(min)].$$

3. Исключение из массивов  $JD$  и  $M$  неуверенных и отсутствующих наблюдений, отмеченных признаком (знаком минус или нулем). Исключение из массивов наблюдений, относящихся к тем фазам основного периода, в которых не происходит заметных фотометрических изменений, обусловленных эффектом Блажко.

4. В интервалах  $P_B^{-1}$ , соответствующих заданным крайним значениям  $P_B(min)$  и  $P_B(max)$  — крайним значениям периода, в пределах которых ведется поиск периода эффекта Блажко, программа работает циклически. Величина  $P_B^{-1}$  меняется с шагом  $\Delta P_B^{-1}$ . В каждом цикле вычисляются:

а) фазы с основным периодом для каждого наблюдения:

$$\phi_i = r - \text{entier}(r);$$

где

$$r = (JD_i - T_0) P_0^{-1} + 0.5;$$

0.5 прибавляется для того, чтобы максимум кривой блеска приходился на середину интервала фаз основного периода, это важно при вычислении  $\theta'$ , так как в противном случае в параметр  $\theta'$  войдут квадраты разностей блеска в различных фазах вторичного периода на стыках кривых блеска (см. пункт г).

б) фазы с пробным вторичным периодом  $P_B$ :

$$\psi_i = s - \text{entier}(s),$$

где

$$s = (JD_i - T_B) \cdot P_B^{-1};$$

Весь интервал фаз вторичного периода от 0 до 1 делится на  $N$  частей, как это показано на рис. 1, и каждой части ставится в соответствие целое число  $R$  — номер интервала, меняющийся от 0 до  $N-1$ .

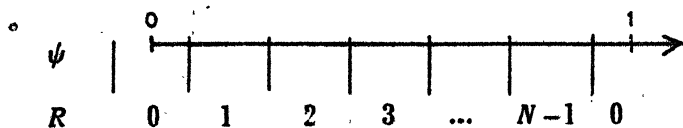


Рис. 1.

В программе величина  $R$  вычисляется по формуле:

$$R_i = \text{entier} \left\{ N \left[ \psi_i + \frac{1}{2N} - \text{entier} \left( \psi_i + \frac{1}{2N} \right) \right] \right\}.$$

в) величина  $R_i$  прибавляется к фазе от основного периода. Наблюдения  $M_i$  далее сортируются в порядке возрастания значений  $\phi_i + R_i$ . В программе применен один из усовершенствованных методов сортировки (Лавров, Гончарова, 1971), позволяющий при большом числе наблюдений значительно сократить время счета (примерно на порядок). После этой операции наблюдения оказываются отсортированными не только по фазе основного периода в каждом интервале фаз вторичного периода, но и в порядке возрастания номера интервала. Фактически в памяти машины теперь содержится функция, изображенная на рис. 3.

г) для последовательности всех отсортированных по  $\psi_i + R_i$  наблюдений  $M$  вычисляется параметр  $\theta'$  по формуле:

$$\theta' = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (M_{i+1} - M_i)^2}{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2},$$

подобный параметру  $\theta$  в программе Х-3а (Холопов, 1970). В этой формуле

$$\bar{M} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n M_i.$$

Сумма, стоящая в знаменателе в формуле для  $\theta'$  вычисляется заранее 1 раз.

д) величина параметра  $\theta'$  сравнивается с  $\theta'_0$  — заранее заданным числом, и если  $\theta' < \theta'_0$ , то из всех значений пробного периода  $P_B$ , при которых  $\theta' < \theta'_0$ , выбирается значение  $P_B(\min)$ , при котором осуществляется минимальное значение  $\theta'(\min)$ . После первого же шага цикла, при котором  $\theta' > \theta'_0$ , значения  $P_B(\min)$ ,  $\theta'(\min)$  и график кривой блеска в табличном виде выдаются на печать. Затем перебор пробных значений периода продолжается.

На рис. 2 показано, как меняется параметр  $\theta'$  вблизи реального значения периода эффекта Блажко для переменной звезды V 30 в M 53. Менее глубокие минимумы дают сопряженные периоды, обусловленные тем, что скопление M 53 наблюдается только весной. При вычислении в больших интервалах вторичного периода программа выдает двойные и другие сопряженные периоды с большим значением параметра  $\theta'$ .

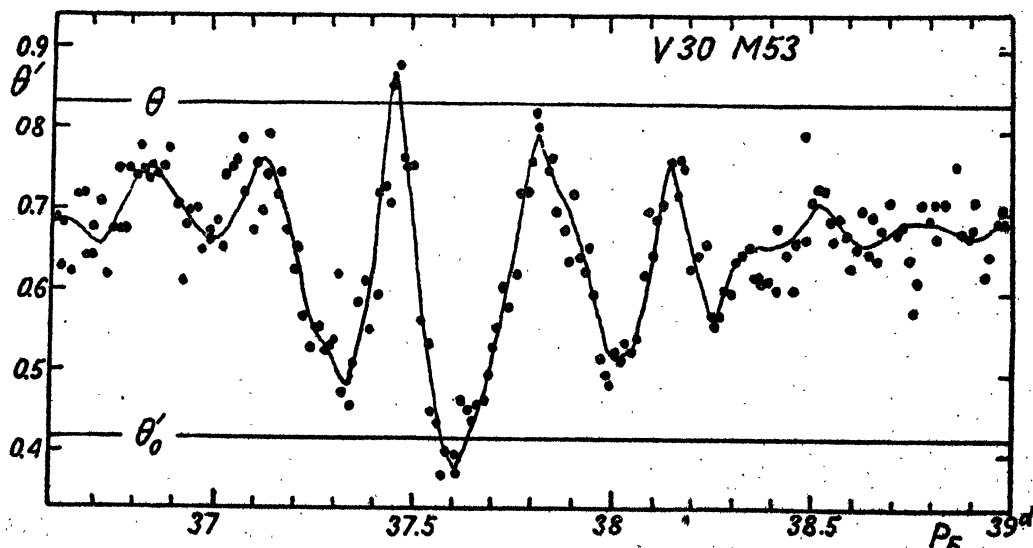


Рис. 2. Изменения параметра  $\theta'$  вблизи реального значения периода эффекта Блажко.

Минимальное количество наблюдений, которое требуется для уверенного определения периода эффекта Блажко при  $N = 3$ , если эти наблюдения содержат достаточно полную информацию о предельных и промежуточных формах кривой блеска в процессе эффекта Блажко, должно составлять 150–200.

Как показал опыт, перед вычислениями на ЭВМ необходимо предварительное исследование основного периода, выявление тех участков графика  $O-C$ , на которых период  $P_0$  постоянен. Как известно, при изменениях основного периода меняется и период эффекта Блажко, и, естественно, изменения  $P_0$  и  $P_B$  вызовут трудности в определении периода  $P_B$ .

## 2. Вычисление периодов эффекта Блажко двух переменных звезд типа RR Лиры в шаровых звездных скоплениях.

Описанная программа была применена для исследования эффекта Блажко двух переменных звезд в шаровых звездных скоплениях V 30 в скоплении M 53 и V 2 в скоплении M 5.

### V 30, M 53 (NGC 5024).

Период эффекта Блажко у этой звезды был определен Вахманом (1968) по ранним наблюдениям, он дает следующие элементы:

$$\text{Яркий макс.} = 2431219.5 + 37.0317 \cdot E.$$

В начале 50-х годов у V 30 произошел скачок основного периода  $P_0$ , равный  $-2.41$  секунды (период уменьшился) (Горанский, 1976). Его новое значение составляет  $0^d 5354580$ . Новые наблюдения показали сильное расхождение с элементами Вахмана, но уточнить период по несистематическим наблюдениям невысокого качества (глазомерные оценки блеска с фотоснимков) оказалось невозможным.

Для вычислений использовались 413 фотографических наблюдений в интервале  $JD\ 2437050-42100$ . Это глазомерные оценки блеска по коллекции негативов ГАИШ (снимки получены на 40-см астрографе

и 50-см менисковом астрографе Крымской станции ГАИШ) и наблюдения Маргоны (1967). Систематическая разница между этими рядами наблюдений была исключена. Поиск периода эффекта Блажко производился в интервале  $35^d - 39^d$ . Были получены новые элементы эффекта Блажко:

$$\text{Яркий макс.} = 2439971.42 + 37.61 \cdot E.$$

В максимуме блеск меняется в пределах  $16^m15 - 16^m75$  В. Слабые максимумы предшествуют по фазе ярким. На рис. 3 представлены кривые блеска V 30 в разных фазах эффекта Блажко, а на рис. 4 — графики изменения блеска в максимуме и фазы максимума в зависимости от фазы эффекта Блажко.

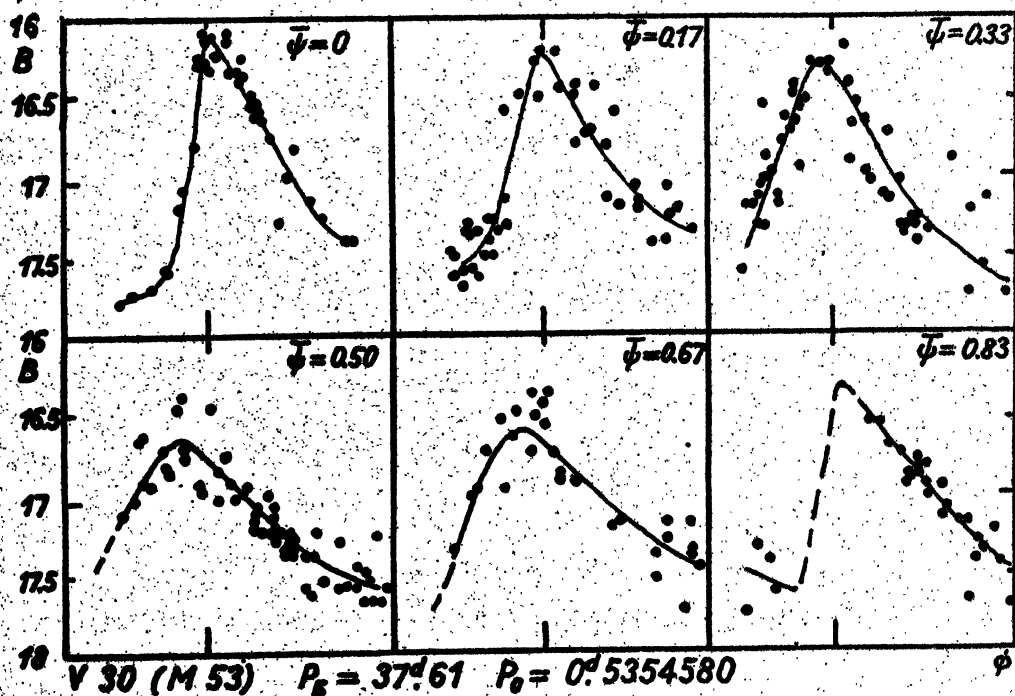
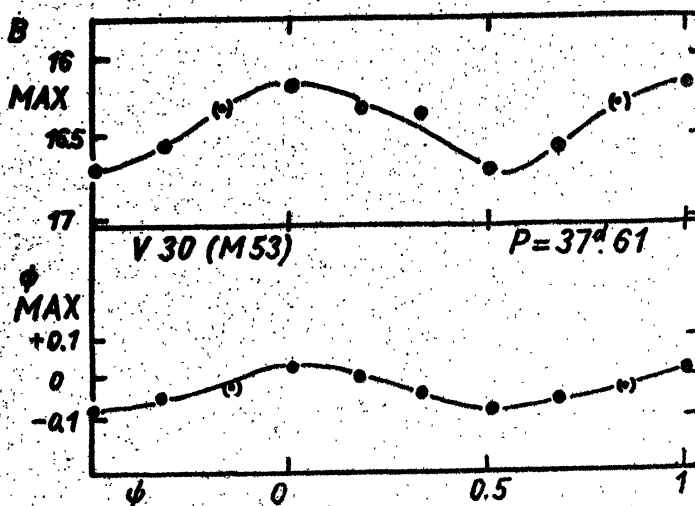


Рис. 3. Изменения формы кривой блеска V 30 в M 53 в процессе эффекта Блажко.

Рис. 4.

Изменение блеска в максимуме и фазы максимума в процессе Блажко-эффекта для V 30 в M 53.



## V 2, M 5 (NGC 5904)

Период эффекта Блажко этой переменной звезды был ранее неизвестен. Детальное исследование основного периода  $P_0$  содержится в работе Кукаркина и Кукаркиной (1971). Полученное в этой работе значение текущего периода, правда, удовлетворяет наблюдениям в гораздо меньшем интервале юлианских дат, чем указано в этой работе, — в интервале дат  $JD\ 2436370-41460$ . Более ранние наблюдения Коуттс и Соьер-Хогг (1969) и более поздние наблюдения показывают сильные расхождения с данными элементами. Для определения периода эффекта Блажко использовались глазомерные оценки блеска по негативам фототеки ГАИШ, по коллекции пластинок Службы сверхновых Крымской станции ГАИШ, а также часть наблюдений Коуттс и Соьер-Хогг для  $JD > 2436370$ . Всего 321 наблюдение. Поиск периода производился в интервале  $5^d-2000^d$ . Получены следующие элементы эффекта Блажко:

$$\text{Яркий макс.} = 2437052.42 + 132.38\ E.$$

Блеск в максимуме меняется в пределах 13.85 — 14.83 В. В отличие от V 30 в M 53 у переменной V 2 меняется лишь высота максимума (рис. 5, 6), фаза максимума не меняется.

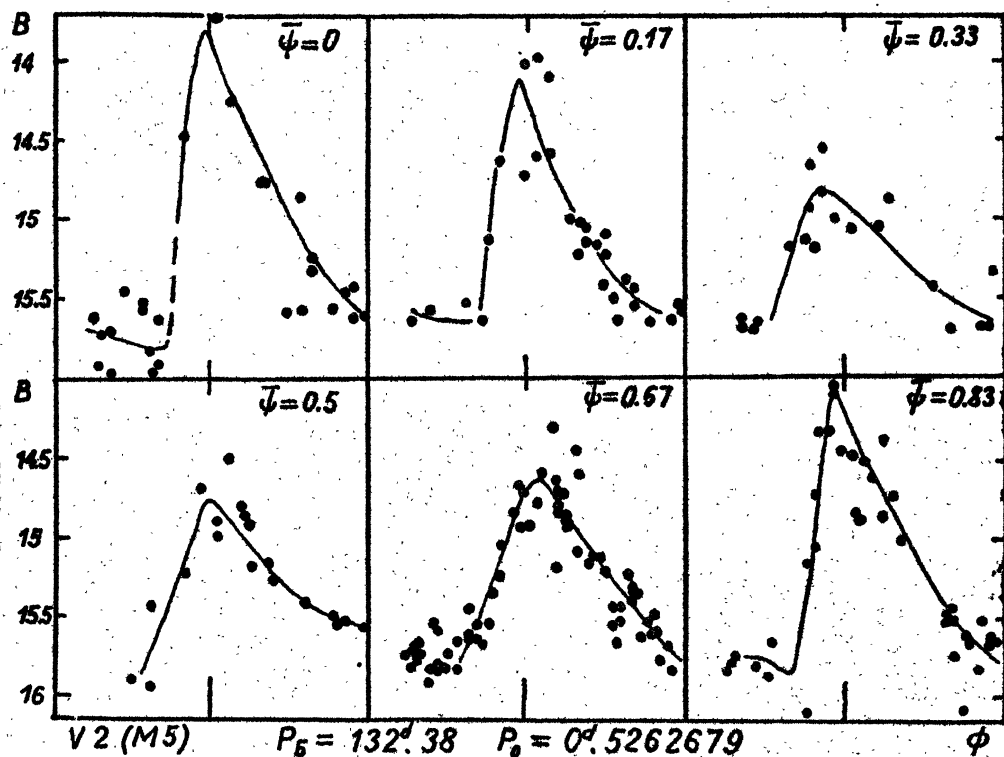
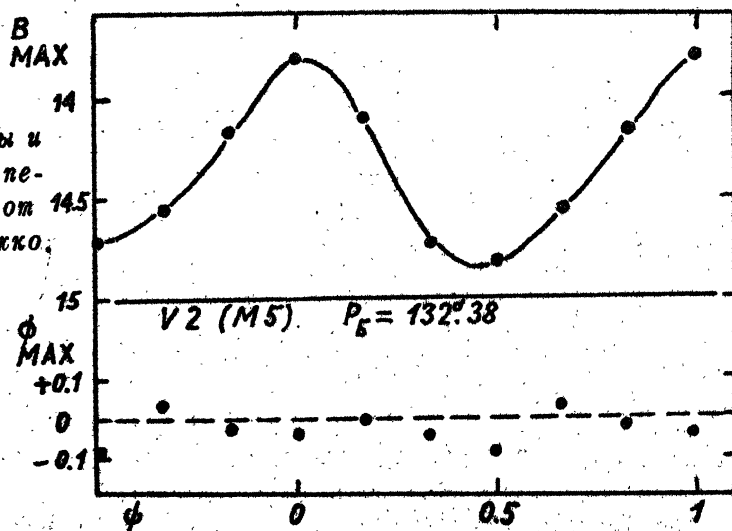


Рис. 5. Изменение формы кривой блеска у переменной M 2 в M 5 в зависимости от фазы эффекта Блажко.

Рис. 6.

Зависимость высоты и фазы максимума у переменной № 2 в М 5 от фазы эффекта Блажко.



### Заключение.

В заключение следует отметить, что предложенный здесь метод оказался очень эффективным для определения периодов Блажко-эффекта у звезд типа RR Лиры. Программу ЭВМ предполагается использовать для дальнейшего исследования звезд с эффектом Блажко в шаровых скоплениях.

### Литература.

- Вахман, 1968 — Wachmann A., Hamb. Abh. 8, No. 4, 114, 1968.  
 Горанский В.П., 1976, ПЗ приложение, в печати.  
 Григоревский В.М., Мотрич В.Д., 1973, АЦ № 751.  
 Зейдль, 1965 — Szeidl B., Mitteilungen der Sternwarte der Ungarischen Academie der Wiss., Budapest — Szabadsághegy, Nr. 58, 73.  
 Коуттс, Соппер-Хогг, 1969 — Coutts C.M., Sawyer Hogg H., David Dunlap Obs. Publ. 3, No. 1, 1969.  
 Кукаркин Б.В., Кукаркина Н.П., 1971, ПЗ приложение 1, 1.  
 Лавров, Гончарова, 1971, в кн. "Автоматическая обработка данных и хранение информации в памяти ЭВМ", М.  
 Маргони, 1967 — Margoni R., Asiago Contr. No. 198.  
 Холопов П.Н., 1970, Труды ГАИШ 40, 72.

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга

Поступила в редакцию  
18 февраля 1976 г.