

УДК 621. 923. 5

И.М. Буюкли, канд. техн. наук, доц.,  
В.М. Колесник, магистр,  
Одес. нац. политехн. ун-т

## ТОЧНОСТЬ ФОРМЫ В ПРОДОЛЬНОМ СЕЧЕНИИ ПРИ ХОНИНГОВАНИИ ГЛУХИХ ОТВЕРСТИЙ

*И.М. Буюкли, В.М. Колесник. Точність форми в поздовжньому перетині при хонінгуванні глухих отворів.* Уточнено алгоритм вибору габаритних розмірів трапецеїдальних брусків, призначених для хонінгування глухих отворів, на основі статистичного аналізу найбільш характерних технологічних операцій хонінгування наскрізних отворів.

*Ключові слова:* хонінгування, глухі отвори, точність форми, компенсація зносу, трапецеїдальні бруски.

*И.М. Буюкли, В.М. Колесник. Точность формы в продольном сечении при хонинговании глухих отверстий.* Уточнен алгоритм выбора габаритных размеров трапецеидальных брусков, предназначенных для хонингования глухих отверстий, на основе статистического анализа наиболее характерных технологических операций хонингования сквозных отверстий.

*Ключевые слова:* хонингование, глухие отверстия, точность формы, компенсация износа, трапецеидальные бруски.

*I.M. Buyukli, V.M. Kolesnik. Accuracy of shape in longitudinal section in honing of blind holes.* The overall dimensions selection algorithm has been specified for trapezoidal bars designed for honing of blind holes, based on a statistical analysis of the most characteristic of technological operations of honing of through holes.

*Keywords:* honing, blind holes, the accuracy of the shape, wear compensation, trapezoidal block.

Известно, что при хонинговании глухих отверстий формируется погрешность формы в продольном сечении в виде конусности. Основной причиной формирования этой погрешности является неравномерный размерный износ по длине режущих элементов, который обусловлен невозможностью обеспечения оптимальной величины перебега в зоне дна обрабатываемого отверстия.

Поэтому нивелирование величины размерного износа по длине режущих элементов является актуальной задачей, решение которой может быть осуществлено по нескольким направлениям, но в основном за счет разработки новых схем хонингования и конструкций хонинговальных головок [1].

Одним из направлений является обеспечение постоянства темпа размерного износа по длине режущих элементов за счет варьирования шириной режущих элементов.

В частности, Пермским политехническим институтом совместно с УкрНИИСМИ разработана и экспериментально апробирована схема хонингования брусками трапецеидальной формы [2].

Конструкция брусков и результаты экспериментальной проверки их исправляющей способности приведены соответственно в табл. 1 и на рис. 1

Таблица 1

Геометрическая точность отверстий при хонинговании трапецеидальными брусками

Форма бруска	Параметры бруска					Средние показатели, мКм	
	$L$	$B$	$B_1$	$\epsilon$	$F$	конусообразности	овальности
	мм				мм <sup>2</sup>		
Прямоугольная	50	10	10	1,0	2000	+130	10
Трапецеидальная	50	10	5	0,5	1500	+74	5
Трапецеидальная	50	10	3	0,3	1300	-62	5

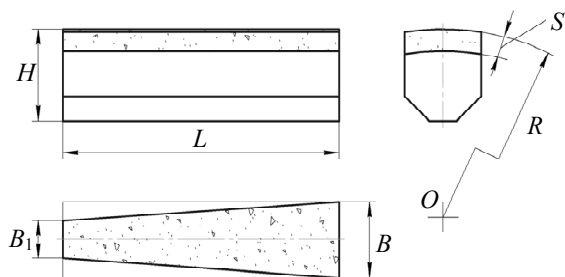


Рис. 1. Конструкция трапецидального бруска

Экспериментальные данные получены при хонинговании глухих отверстий в образцах из термически необработанной стали 45 ( $d_{\text{отв}}=40$  мм;  $l_{\text{отв}}=150$  мм) с исходной конусообразностью 0,03...0,04 мм брусками АСР 125/100-М1-100 с суммарной площадью режущей части алмазоносного слоя  $F$  (при числе брусков  $z=4$ ).

Установлено, что степень исправления конусообразности отверстия зависит от отношения оснований трапеции

$$\varepsilon = B_1/B. \quad (1)$$

В каждом конкретном случае оптимальное значение  $\varepsilon$  следует подбирать опытным путем. Как видно из таблицы 1, для данного конкретного случая эффективное исправление конусности достигается при  $\varepsilon=0,4...0,5$ .

Необходимо отметить, что существует оптимальное значение ширины брусков, при котором процесс хонингования наиболее эффективен. Варьирование же шириной брусков по их длине в соответствии с таблицей 1 (более чем в два раза) приведет к тому, что хонингование существенно большей частью рабочей поверхности брусков будет осуществляться в неоптимальном режиме. Это неизбежно отразится на эффективности процесса съема припуска, удельного износа алмазоносного слоя, качестве обработанной поверхности и др.

Необходимо также отметить, что в конструкциях хонинговальных головок суммарная ширина брусков выбирается в соответствии с формулой [3]

$$Bz = (0,25...0,35)\pi d_{\text{отв}}. \quad (2)$$

Суммарная ширина брусков  $Bz$  может быть определена двояко.

Изначально, по эмпирическому графику определяется ширина алмазного бруска  $B$  в зависимости от диаметра обрабатываемого отверстия  $d_{\text{отв}}$  и затем, по формуле (2) — количество брусков  $z$  [3].

Либо, изначально, конструктивно, в зависимости от диаметра обрабатываемого отверстия, определяется количество брусков, затем по формуле (2) — ширина брусков.

Далее, если допустить, что для определения габаритных размеров трапецидального бруска может быть использована формула (2), то неясно, чему будет соответствовать искомая ширина: верхнему основанию трапеции  $B$ , нижнему основанию трапеции  $B_1$  или какому-то промежуточному значению.

Кроме того, отсутствует информация в отношении факторов, определяющих закон изменения величины  $x=(zB)/(\pi D_{\text{отв}})$  в диапазоне 0,25...0,35, которым регламентируется выбор суммарной ширины брусков.

Поэтому целью данной работы является уточнение алгоритма выбора габаритных размеров трапецидальных брусков, предназначенных для хонингования глухих отверстий.

Из имеющихся экспериментальных данных, инвариантно к диаметральному размеру, параметрам конструкции инструмента и свойствам алмазоносного слоя и материала заготовки, выполним по отношению к величине  $x$  статистический анализ выборок наиболее характерных операций хонингования сквозных отверстий [3...8] и на основе результатов этого анализа сформулируем рекомендации по выбору габаритных размеров трапецидальных брусков для хонингования глухих отверстий.

Исходные данные для проведения указанного анализа приведены в табл. 2.

По данным таблицы 2 построим график рассеивания величины  $x_j$  в зависимости от диаметра обработки (рис. 2).

Таблиця 2

Исходные и расчетные параметры

№	$x_j = (\pi \cdot D_{\text{отв.}j}) / (z_j \cdot B_j)$				
1	$3 \cdot 2 / \pi \cdot 8 = 0,238$	19	$4 \cdot 6 / \pi \cdot 31 = 0,246$	39	$4 \cdot 12 / \pi \cdot 61 = 0,250$
2	$3 \cdot 3 / \pi \cdot 8 = 0,358$	20	$4 \cdot 6 / \pi \cdot 32 = 0,238$	40	$4 \cdot 12 / \pi \cdot 61 = 0,250$
3	$3 \cdot 3 / \pi \cdot 10 = 0,286$	21	$4 \cdot 8 / \pi \cdot 35 = 0,291$	41	$6 \cdot 6 / \pi \cdot 61 = 0,187$
4	$3 \cdot 4 / \pi \cdot 11 = 0,347$	22	$4 \cdot 5 / \pi \cdot 35 = 0,181$	42	$6 \cdot 13 / \pi \cdot 65 = 0,382$
5	$3 \cdot 4 / \pi \cdot 12 = 0,318$	23	$4 \cdot 11 / \pi \cdot 37 = 0,378$	43	$7 \cdot 11 / \pi \cdot 72 = 0,340$
6	$4 \cdot 3 / \pi \cdot 13 = 0,293$	24	$3 \cdot 6 / \pi \cdot 38 = 0,150$	44	$7 \cdot 11 / \pi \cdot 72 = 0,340$
7	$4 \cdot 3 / \pi \cdot 13 = 0,293$	25	$3 \cdot 6 / \pi \cdot 38 = 0,150$	45	$4 \cdot 8 / \pi \cdot 72 = 0,141$
8	$4 \cdot 4 / \pi \cdot 15 = 0,339$	26	$3 \cdot 12 / \pi \cdot 38 = 0,301$	46	$6 \cdot 13 / \pi \cdot 75 = 0,331$
9	$3 \cdot 4 / \pi \cdot 16 = 0,238$	27	$6 \cdot 3 / \pi \cdot 38 = 0,150$	47	$6 \cdot 13 / \pi \cdot 75 = 0,331$
10	$3 \cdot 4 / \pi \cdot 16 = 0,238$	28	$4 \cdot 10 / \pi \cdot 42 = 0,303$	48	$5 \cdot 12 / \pi \cdot 79 = 0,241$
11	$4 \cdot 5 / \pi \cdot 21 = 0,303$	29	$4 \cdot 10 / \pi \cdot 42 = 0,303$	49	$5 \cdot 12 / \pi \cdot 79,5 = 0,240$
12	$3 \cdot 8 / \pi \cdot 22 = 0,347$	30	$6 \cdot 6 / \pi \cdot 42 = 0,272$	50	$6 \cdot 10 / \pi \cdot 81 = 0,235$
13	$4 \cdot 5 / \pi \cdot 22 = 0,299$	31	$4 \cdot 12 / \pi \cdot 42 = 0,363$	51	$6 \cdot 8 / \pi \cdot 82 = 0,186$
14	$3 \cdot 3,5 / \pi \cdot 27 = 0,123$	32	$8 \cdot 4 / \pi \cdot 45 = 0,226$	52	$6 \cdot 8 / \pi \cdot 82 = 0,186$
15	$3 \cdot 4 / \pi \cdot 27 = 0,141$	33	$8 \cdot 4 / \pi \cdot 45 = 0,226$	53	$8 \cdot 8 / \pi \cdot 84 = 0,242$
16	$3 \cdot 4 / \pi \cdot 27 = 0,141$	34	$6 \cdot 8 / \pi \cdot 51 = 0,299$	54	$6 \cdot 6 / \pi \cdot 85 = 0,134$
17	$3 \cdot 8 / \pi \cdot 28,5 = 0,267$	35	$6 \cdot 8 / \pi \cdot 51 = 0,299$	55	$6 \cdot 6 / \pi \cdot 85 = 0,134$
18	$3 \cdot 8 / \pi \cdot 28,5 = 0,267$	36	$5 \cdot 8 / \pi \cdot 52 = 0,244$	56	$8 \cdot 10 / \pi \cdot 92 = 0,276$
		37	$5 \cdot 8 / \pi \cdot 58 = 0,219$	57	$8 \cdot 10 / \pi \cdot 92 = 0,276$
		38	$4 \cdot 12 / \pi \cdot 61 = 0,250$	58	$10 \cdot 6 / \pi \cdot 92 = 0,207$
				59	$10 \cdot 6 / \pi \cdot 92 = 0,207$
				60	$9 \cdot 12 / \pi \cdot 100 = 0,343$
				61	$9 \cdot 12 / \pi \cdot 100 = 0,343$
				62	$6 \cdot 12 / \pi \cdot 100 = 0,229$
				63	$6 \cdot 12 / \pi \cdot 10 = 0,227$
				64	$6 \cdot 12 / \pi \cdot 101 = 0,227$
				65	$6 \cdot 12 / \pi \cdot 103 = 0,222$
				66	$4 \cdot 20 / \pi \cdot 103 = 0,247$
				67	$4 \cdot 20 / \pi \cdot 103 = 0,247$
				68	$6 \cdot 12 / \pi \cdot 105 = 0,218$
				69	$6 \cdot 12 / \pi \cdot 105 = 0,218$
				70	$6 \cdot 12 / \pi \cdot 111 = 0,206$
				71	$6 \cdot 12 / \pi \cdot 111 = 0,206$
				72	$8 \cdot 12 / \pi \cdot 120 = 0,254$
				73	$8 \cdot 12 / \pi \cdot 120 = 0,254$
				74	$8 \cdot 12 / \pi \cdot 120 = 0,254$
				75	$12 \cdot 15 / \pi \cdot 120 = 0,47$
				76	$12 \cdot 15 / \pi \cdot 120 = 0,47$
				77	$15 \cdot 8 / \pi \cdot 145 = 0,263$
				78	$15 \cdot 8 / \pi \cdot 145 = 0,263$

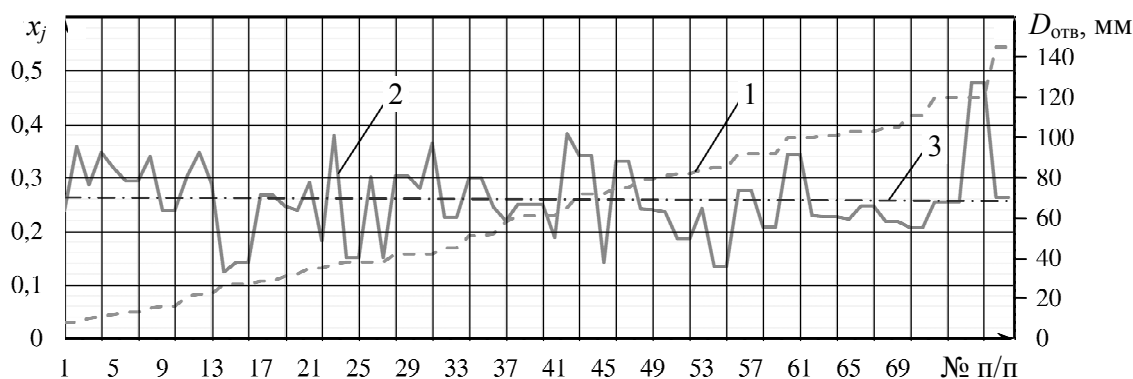


Рис. 2. Рассеивание величины  $x_j$  в зависимости от диаметра обработки: диаметры отверстий (1);  $x_j$  (2); линия тренда (3)

Из графика видно, что  $x_j$  является случайной величиной по отношению к диаметру обработки. В связи с этим, применяя методику группирования в интервалы [9], выполним статистический анализ значений  $x_j$  (табл. 3) и для наглядности построим кривые рассеивания этих значений (рис. 3).

Таблиця 3

## Сгруппированные данные

Эмпирическое распределение  $x_j$  при хонинговании стальных и чугунных деталей

Значения $x_j = (\pi D_{отв,j}) / (z_j B_j)$		Размах вы- борки	Число интерва- лов	Ширина интервала	Объем выборки	Средне- арифмети- ческое значение	Средне- квадра- тическое отклоне- ние	Критерий Колмогорова	Вероят- ность
$x_{\max}$	$x_{\min}$								
0,4777	0,1238	0,3538	8	0,0442	78	0,2599	0,0684	0,8215	0,5441
№ интервала	Интервалы текущего эмпири- ческого распределения		Середина интервала	Частота интервала	Частость интервала	Теоретиче- ская частота	Накоплен- ная эмпи- рическая частота	Накопленная теоретиче- ская частота	$ Nm_i - N m'_i $
	$x_i$	$m_i$	$m_i/n$	$m'_i$	$N m_i$	$N m'_i$			
1	0,12385	0,16808	0,1459	8	0,10256	5,03205	8	5,03205	2,9679
2	0,168082	0,21231	0,1901	8	0,10256	11,9647	16	16,9967	0,9967
3	0,212314	0,25654	0,2344	27	0,34615	18,7476	43	35,7443	7,2556
4	0,256546	0,30077	0,2786	14	0,17948	19,3587	57	55,1031	1,8968
5	0,300778	0,34501	0,3228	12	0,15384	13,1733	69	68,2764	0,7235
6	0,345011	0,38924	0,3671	6	0,07692	5,90750	75	74,1839	0,8160
7	0,389243	0,43347	0,4113	2	0,02564	1,74581	77	75,9298	1,0701
8	0,433475	0,47770	0,4555	1	0,01282	0,34000	78	76,2698	1,7301

Эмпирическое распределение  $x_j$  при хонинговании стальных деталей

$x_{\max}$	$x_{\min}$	$W_c$	$f_c$	$d_c$	$n_c$	$\bar{X}_c$	$S_c$	$\lambda_c$	$P(\lambda)_c$
0,4777	0,1348	0,3428	7	0,0489	40	0,272	0,0736	0,2770	0,99
№	Интервалы		$x_{ic}$	$m_{ic}$	$m_{ic}/n_c$	$m'_{ic}$	$N m_{ic}$	$N m'_{ic}$	
1	0,134882	0,183857	0,1593	5	0,125	3,293	5	3,29334	1,7066
2	0,18385	0,232832	0,2083	7	0,175	7,303	12	10,5969	1,4030
3	0,23283	0,281807	0,2573	11	0,275	10,40	23	21,0025	1,9974
4	0,28180	0,330782	0,3062	10	0,25	9,524	33	30,5269	2,4730
5	0,33078	0,379757	0,3552	4	0,1	5,600	37	36,1275	0,8724
6	0,37975	0,428732	0,4042	1	0,025	2,115	38	38,2433	0,2433
7	0,42873	0,477707	0,4532	2	0,05	0,513	40	38,7568	1,2431

Эмпирическое распределение  $x_j$  при хонинговании чугунных деталей

$x_{\max}$	$x_{\min}$	$W_{\text{ч}}$	$f_{\text{ч}}$	$d_{\text{ч}}$	$n_{\text{ч}}$	$\bar{X}_{\text{ч}}$	$S_{\text{ч}}$	$\lambda_{\text{ч}}$	$P(\lambda)_{\text{ч}}$
0,3474	0,1238	0,2235	6	0,0372	35	0,2446	0,0551	0,3840	0,99
№	Интервалы		$x_{i \text{ ч}}$	$m_{i \text{ ч}}$	$m_{i \text{ ч}}/n_{\text{ч}}$	$m'_{i \text{ ч}}$	$N m_{i \text{ ч}}$	$N m'_{i \text{ ч}}$	
1	0,12385	0,1611	0,1425	3	0,08571	1,6944	3	1,69449	1,3055
2	0,161112	0,1983	0,1797	3	0,08571	4,7163	6	6,41088	0,4108
3	0,198374	0,2356	0,2170	11	0,31428	8,3169	17	14,7278	2,2721
4	0,235637	0,2728	0,2543	7	0,2	9,2918	24	24,0196	0,0196
5	0,272899	0,3101	0,2915	5	0,14285	6,5769	29	30,5966	1,5966
6	0,310161	0,3474	0,3288	6	0,17142	2,9493	35	33,5459	1,4540

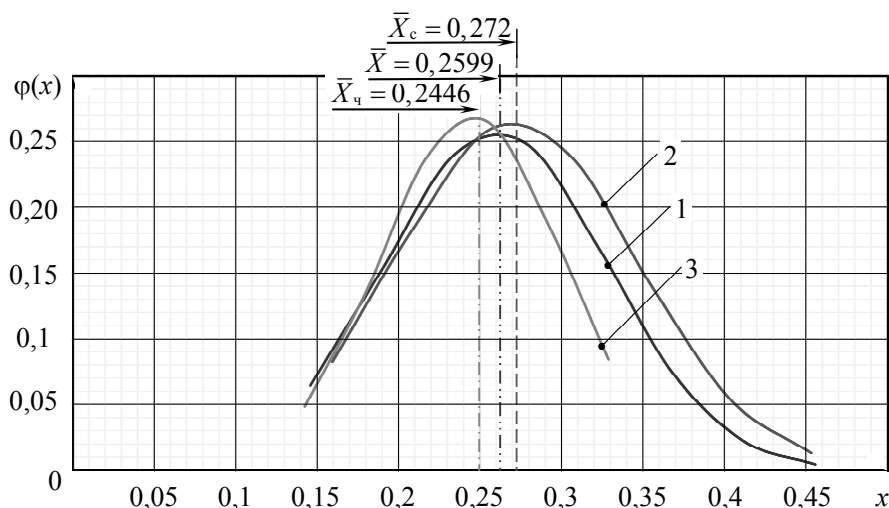


Рис. 3. Распределения величин  $x$  для: сталей и чугунов  $m'/n$  (1); сталей  $m'_c/n_c$  (2); чугунов  $m'_ч/n_ч$  (3)

#### Выводы.

Из значений таблицы 3 следует, что по критерию Колмогорова ( $P(\lambda) > 0,05$ ) во всех трех случаях имеет место закон нормального распределения.

Размах среднеарифметических значений по трем случаям составляет 0,0274. Поскольку это на порядок меньше по сравнению с размахом всей выборки эмпирического распределения величин  $x$ , то можно утверждать, что отсутствует функциональная зависимость между значениями  $x$  и свойствами обрабатываемого материала.

Отсюда следует, что при выборе габаритных размеров трапецидальных брусков для хонингования глухих отверстий необходимо величину средней линии трапеции приравнять к расчетному значению ширины брусков, определенной для случая хонингования сквозных отверстий (по эмпирическому графику [3] и формуле (2)), а отношение оснований трапеции  $\varepsilon = B_1/B$  определять экспериментальным путем.

#### Литература

1. Алмазно-абразивная обработка: межвуз. сб. науч. тр. — Пермь: Перм. гос. ун-т, 1976. — № 184. — 162 с.
2. Хонингование: справ. пособие / С.И. Куликов, В.А. Романчук, Ф.Ф. Ризванов, Ю.М. Евсеев. — М.: Машиностроение, 1973. — 168 с.
3. Левин, Б.Г. Алмазное хонингование отверстий / Б.Г. Левин, Я.Л. Пятов. — М.: Машиностроение, 1969. — 112 с.
4. Холмогорцев, Ю.П. Оптимизация процессов обработки отверстий / Ю.П. Холмогорцев. — М.: Машиностроение, 1984. — 184 с.
5. Бабичев, А.П. Хонингование / А.П. Бабичев. — М.: Машиностроение, 1965. — 96 с.
6. Бабаев, С.Г. Алмазное хонингование глубоких и точных отверстий / С.Г. Бабаев, Н.К. Мамедханов, Р.Ф. Гасанов. — М.: Машиностроение, 1978. — 103 с.
7. Кремень, З.И. Хонингование и суперфиниширование деталей / З.И. Кремень, И.Х. Стратиевский. — 3-е изд., перераб. и доп. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1988. — 137с. — (Б-ка шлифовщика. Вып. 9).
8. Прогрессивные методы хонингования / С.И. Куликов, Ф.Ф. Ризванов, В.А. Романчук, С.В. Ковалевский. — М.: Машиностроение, 1983. — 135 с.
9. Солонин, И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения / И.С. Солонин. — М.: Машиностроение, 1972. — 217с.

---

**References**

1. Almazno-abrazivnaya obrabotka. Mezhvuz. sb. nauch. Trudov #184 Perm' [Diamond abrasive machining. Interuniv. coll. of sci. papers]: Permskiy gosudarstvennyy universitet [Perm State University], 1976. — 162 p.
2. Khoningovanie: spravochnoe posobie [Honing: reference book] / S.I. Kulikov, V.A. Romanchuk, F.F. Rizvanov, YU.M. Yevseyev — Moscow, 1973. — 168 p.
3. Levin, B.G. Almaznoe khoningovanie otverstiy [Diamond honing of holes] / B.G. Levin, YA.L. Pyatov — Moscow, 1969. — 112 p.
4. Kholmogortsev, Yu.P. Optimizatsiya protsessov obrabotki otverstiy [Optimization of processing holes] / YU. P. Kholmogortsev — Moscow, 1984. — 184 p.
5. Babichev, A.P. Khoningovanie [Honing] / A. P. Babichev. — Moscow, 1965. — 96 p.
6. Babaev, S.G. Almaznoe khoningovanie glubokikh i tochnykh otverstiy [Diamond honing of deep and precise holes] / S.G. Babaev, N.K. Mamedkhanov, R.F. Gasanov — Moscow, 1978. — 103 p.
7. Kremen' Z.I. Khoningovanie i superfinishirovanie detaley [Honing and superfinishing of parts] / Z.I. Kremen', I.Kh. Stratievskiy — 3rd edition, revised and enlarged — St. Petersburg, 1988. — 137 p.
8. Progressivnye metody khoningovaniya [Progressive methods of honing] / S.I. Kulikov, F.F. Rizvanov, V.A. Romanchuk, S.V. Kovalevskiy — Moscow, 1983. — 135 p.
9. Solonin, I.S. Matematicheskaya statistika v tekhnologii mashinostroeniya [Mathematical statistics in technology of mechanical engineering] / I.S. Solonin — Moscow, 1972 — 217 p.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Лебедев В.Г.

Поступила в редакцию 12 ноября 2013 г.