

УДК 621.855

UDC 621.855

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПОЛЗУНА
МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНОЧНОГО
КОМПЛЕКСА СЕРИИ VM НА ТОЧНОСТЬ
ОБРАБОТКИ****THE DEFORMATION EFFECT OF VM
SLIDER MULTI COMPLEX MACHINE
SERIES ON PRECISION MACHINING**

Бережной Сергей Борисович,
д.т.н., профессор
РИНЦ SPIN-код: 2983-3722
beregnoy@kubstu.ru

Berezhnoy Sergey Borisovich
Dr.Sci.Tech., professor
RSCI SPIN-code: 2983-3722
beregnoy@kubstu.ru

Чумак Павел Васильевич
аспирант
РИНЦ SPIN-код: 9130-9100
chumak1987@mail.ru
*Кубанский государственный технологический
университет, Краснодар, Россия*

Chumak Pavel Vasilyevich
postgraduate student
RSCI SPIN-code: 9130-9100
chumak1987@mail.ru
*Kuban State University of Technology
Krasnodar, Russia*

Статья посвящена проблемам повышения экономического роста Российской Федерации, развитию высокотехнологичных наукоемких отраслей обрабатывающей промышленности на базе принципиально нового технологического уклада, новых безлюдных технологий. Предлагаются мероприятия по повышению точности изготовления сложных и крупногабаритных изделий, деталей. В настоящее время технический уровень многих отраслей народного хозяйства в значительной мере определяется уровнем производств средств производства. Базой производств средств производства является станкостроение. На основе развития станкостроения осуществляется комплексная механизация и автоматизация производственных процессов в промышленности, строительстве, сельском хозяйстве, на транспорте и других отраслях. Выполнен комплексный анализ погрешностей, влияющих на точность изготовления деталей. Предлагаются мероприятия повышения точности изготовления на базе многоцелевого станочного комплекса серии VM 32. Выполнен анализ влияния сил резания и формы сечения ползуна на его деформацию при различных видах обработки. Определена оптимальная форма сечения ползуна для увеличения жесткости и уменьшения деформации ползуна при резании металлов

The article is devoted to the problems of increasing the economic growth of the Russian Federation, the development of high-tech knowledge-intensive manufacturing industries on the basis of a fundamentally new technological order, new unmanned technologies. The measures to improve the accuracy of manufacturing of complex and large-sized parts. Currently, the technical level of many sectors of the economy is largely determined by the level of production of means of production. The basis of these means is the machine tool industry. On the basis of machine tool development we handle a comprehensive mechanization and automation of production processes in industry, construction, agriculture, transport and other industries. We completed a comprehensive analysis of the errors affecting the manufacturing precision parts. The activities for improving the accuracy of manufacture based on VM 32 multi-machine complex series were proposed. We made the analysis of the cutting forces influence and the cross-sectional shape of the slide on its deformation for various types of processing. We determined the optimal shape of the cross section of the slider to increase stiffness and reduce deformation of the slide in metal cutting

Ключевые слова: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УКЛАД, ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, СТАНОК, ПОЛЗУН, СУППОРТ, ПОПЕРЕЧИНА, ПРИВОД, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УКЛАД, СТАНОЧНЫЙ КОМПЛЕКС, ТОЧНОСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ, ДЕТАЛЬ

Keywords: TECHNOLOGICAL STRUCTURES, TOCHOST MANSHIP, MACHINE, A SLIDER, CALIPER, CROSSBAR, DRIVE, CONTROL SYSTEM, TECHNOLOGICAL STRUCTURES, COMPLEX OF MACHINES, POSITIONING ACCURACY, PRODUCTION, DETAIL

Основой экономического роста Российской Федерации является развитие высокотехнологичных наукоемких отраслей обрабатывающей промышленности на базе принципиально нового технологического уклада.

По оценке экспертов, в настоящее время, станкостроение, приборостроение и производство высокотехнологичного оборудования России оказались в зоне «некомпенсируемого технологического отставания». Спад производства в высокотехнологичных отраслях оказался намного больше среднего по промышленности. К сожалению, на мировых рынках сегодня высокотехнологичная продукция России занимает 0,3 процента от общего объема, это более чем на два порядка меньше чем в США, на порядок меньше чем в Мексике, втрое меньше, чем на Филиппинах.

Для реализации экономического и технологического прорыва необходимо обеспечить полное техническое перевооружение, создание и развитие импортозамещающих средств машиностроительного производства, которые относятся к технологиям двойного назначения и наиболее востребованы стратегическими организациями станкостроительного, машиностроительного и оборонно-промышленного комплексов (авиастроительного, ракетно-космического, судостроительного и энергомашиностроительного).

Эволюцию развития станочного парка России в механической обработке изделий можно выразить в виде шести технологических укладов [3] (ТУ).

Таблица 1 - Эволюция технологических укладов в механической обработке.

№ ТУ	Технологическая генерация	Период	Станок	Приспособление	Управление
I	Технологический уклад на базе универсальных станков	До 60-х годов XX века	Простые	Простейшие	Человек
II	Технологический уклад на базе универсальных и спец. станков, в т.ч. с ЧПУ	60-80 годы XX века	Сложные	Простые и сложные механические	Человек + Кинематика
III	Технологический уклад на базе станков с ЧПУ и обрабатывающих центров	80-90 годы XX века	Упрощённые, повышенной точности	Специальные механические	Человек + выч. техника
IV	Технологический уклад на базе обрабатывающих центров	С начала 20 г. XXI века	Простые, высокой точности	Специальные и оснащённые ЧПУ	информационная система
V	Технологический уклад на базе технологических комплексов и обрабатывающих центров	20-40 годы XXI века	Простые, высокой точности и особой надёжности	Специальные модули-станки оснащённые ЧПУ	Интегрированная информационная система
VI	Постиндустриальный технологический уклад на базе системы искусственного интеллекта, интегрированные высокоскоростные транспортные системы.	начиная с 30 г. XXI века	Простые, высокой точности и особой надёжности	Модульный характер построения станочных комплексов	Безлюдные технологии

Технологический уклад - комплекс станков, приспособлений, инструментов, измерительных систем, управление комплексом при изготовлении изделия. Первый ТУ имел базу станков, агрегатов с ручным управлением и универсальное назначение. Второй ТУ базируется на универсальных полуавтоматах и автоматах большой производительности, но с малой мобильностью, специализированных автоматах для строго определённой продукции, лишённых мобильности и на агрегатных станках созданных путём компоновки унифицированных механизмов. Третий ТУ базируется на автоматических линиях из агрегатных станков и машин, или на универсальном оборудовании, обладающим высокой производительностью и возможностью переналадки, или на базе

специального оборудования узкого профиля для выпуска массовой однотипной продукции. Четвёртый ТУ, в основе которого находятся станки, машины с числовым программным управлением (ЧПУ), обрабатывающие центры позволяющие автоматизировать производственные процессы с возможностью быстрой перенастройки. Пятый ТУ – участки и линии гибких автоматизированных производств, технологические комплексы и обрабатывающие центры, обладающие комплексной автоматизацией всех производственных процессов, единой системой управления и гибкой переналадкой на выпуск новых изделий. Шестой ТУ – безлюдные технологии, использование всего оборудования всех ТУ, и системы управления ЭВМ без применения и ручного и умственного труда при изготовлении изделия.

Передовые предприятия станкостроения России в данный момент находится на четвертом ТУ. Для реализации перехода станкостроения России к новому, пятому ТУ, необходимо осуществить прорыв и перейти от ТУ на базе обрабатывающих центров к ТУ на базе технологических комплексов и обрабатывающих центров и, в дальнейшем, к применению безлюдных технологий.

Переход к новым технологическим укладам - единственный выход из сложившейся ситуации в станкостроении и в промышленности России в целом.

При переходе к новым ТУ необходимо выполнить обработку крупногабаритных изделий, с высокой точностью и создавать различные принципиально новые многоцелевые обрабатывающие центры. При этом обеспечить: безопасную работу, применение систем управления станком с высоким уровнем интеллекта, использование новых технологий, изготовление заготовок с минимальным припуском, максимальное применение современных элементов, как в механических системах, так и в системах контроля и управления, автоматический контроль состояния и

смены инструмента, размеров обрабатываемой детали, систему очистки СОЖ и ее утилизацию, удаление стружки и аэрозолей и т.п.

Повышение точности обработки изделий на многоцелевых обрабатывающих комплексах можно обеспечить двумя путями:

- *изменением кинематики станочного комплекса;*
- *повышением качества инструментальной оснастки.*

Кинематика станочного комплекса играет важную роль особенно при обработке и изготовлении крупногабаритных деталей, так как при работе с большими массами возникают значительные маховые (инерционные) моменты, которые могут привести к поломке и выходу из строя самого оборудования.

Одним из важных факторов, влияющих на точность изготовления является жесткость исполнительных органов, в частности жесткость ползуна многоцелевого станочного комплекса серии VM, относящегося к VI технологическому укладу.

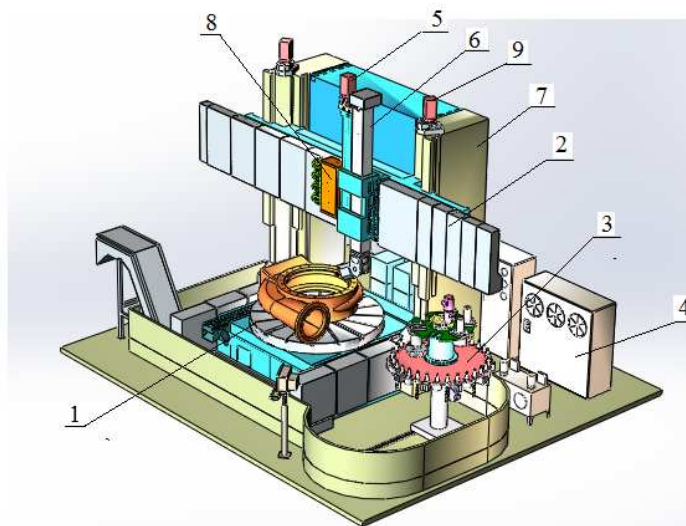


Рисунок 1 – Многоцелевой станочный комплекс VM 32.

1-привод главного движения; 2-поперечина; 3 - инструментальный магазин; 4-устройство ЧПУ; 5-сверлильно - фрезерный привод; 6-ползун; 7 - портал; 8- суппорт; 9-привод перемещения по координатным осям.

На деформацию ползуна влияет сила резания R [1, 2] при различных видах обработки. Сила резания R (рис. 2) раскладывается на составляющие силы – тангенциальную P_z , радиальную P_x и осевую P_y .

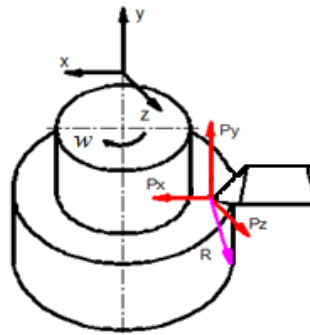


Рисунок 2 – Силы резания при токарной обработке на многоцелевом станочном комплексе.

При точении, растачивании, отрезании заготовки, прорезании пазов и фасонном точении тангенциальную составляющую P_z , рассчитывают [2] по формуле:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V_\phi^n \cdot K_p; \quad (1)$$

где: C_p – постоянный коэффициент, отражающий влияние условий обработки, поддерживаемых постоянными в ходе эксперимента;

x ; y ; n – показатели степени, характеризующие интенсивность влияния соответствующего элемента режима резания;

K_p – коэффициенты, учитывающие влияние свойств обрабатываемого материала, геометрию инструмента

Коэффициенты при получистовой обработке:

$$C_p = 300; x = 1,0; y = 0,75; n = -0,15.$$

При чистовой обработке:

$$C_p = 247; x = 1,0; y = 1,0; n = 0.$$

При отделочной обработке:

$$C_p = 212; x = 1,0; y = 0,75; n = 0.$$

t - глубина резания, мм; (при получистовой $t=2,0$ мм, чистовой $t=0,5$ мм, отделочная обработка $t=0,2$ мм);

s – подача мм/об, (при получистовой $s=0,8$ мм/об, чистовой $s=0,5$ мм/об, отделочная обработка $s=0,2$ мм/об);

V – скорость резания, м/мин; (при получистовой $V=100$ м/мин, чистовой $V=150$ м/мин, отделочная обработка $V=200$ м/мин);

$K_p=K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{r p}$ - поправочный коэффициент, учитывающий фактические условия резания, $K_p=0,53$.

Для определения сил P_y и P_x существуют аналогичные эмпирические формулы. Однако для упрощения и ускорения расчётов величины сил P_y и P_x рекомендуется [2] определять по следующим соотношениям:

$$P_y=(0,1...0,25) \cdot P_z \tag{2}$$

$$P_x=(0,25...0,5) \cdot P_z \tag{3}$$

Подставив численные значения в зависимость (1, 2, 3) рассчитаем P_z , P_x , P_y для получистовой, чистовой и финишной обработки. Численные значения сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Силы резания.

получистовая	чистовая	финишная
$P_{z1}=2671,3 \text{ Н}$	$P_{z2}=327,3 \text{ Н}$	$P_{z3}=67,5 \text{ Н}$
$P_{y1}=667,8 \text{ Н}$	$P_{y2}=81,8 \text{ Н}$	$P_{y3}=16,9 \text{ Н}$
$P_{x1}=1335,6 \text{ Н}$	$P_{x2}=163,6 \text{ Н}$	$P_{x3}=33,6 \text{ Н}$

В настоящее время в многоцелевом станочном комплексе VM32 применяется ползун [1] квадратного сечения 250x250мм с отверстием по центру диаметром 200мм. По расчетам для квадратного сечения ползуна [1] прогиб $y=450$ мкм, угол наклона упругой линии $\Theta=0,025$ град. и угол закручивания $\varphi=0,0038$ град. при получистовой обработке.

Задача определить оптимальную форму сечения ползуна для увеличения жесткости и уменьшения его деформации при различных видах обработки.

При определении деформации ползуна рассматривают два отдельных его участка [4] – консольная часть длиной L и часть лежащая на основании длиной H (рис. 3). Нагрузку на ползун в каждой из главных плоскостей изгиба можно представить в виде сосредоточенной силы P и изгибающего момента M на конце ползуна, кроме этого в следствии несовпадения вершины резца с осью ползуна h действует крутящий момент $T_{кр}$.

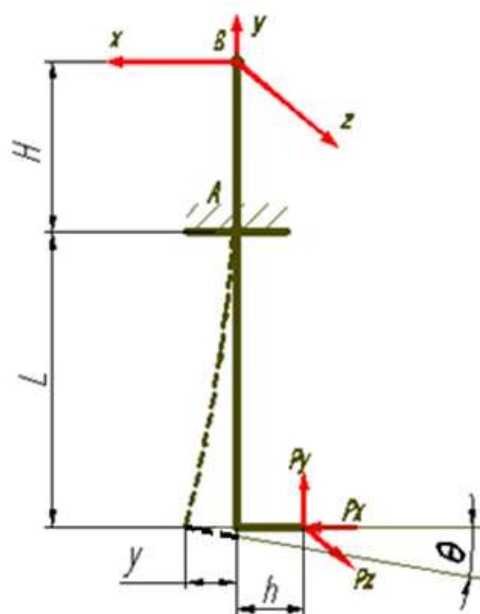


Рисунок 3 – Схема нагружения ползуна.

Так как ползун в точке A находится в закреплении [5], то принимаем его начальный прогиб y_0 , угол наклона упругой линии θ_0 и угол закручивания φ_0 равным нулю.

Силы действующие в плоскости XU :

$$P=P_y; \quad M=P_y \cdot h; \quad M_A = P_y \cdot h - P_x \cdot L.$$

Силы действующие в плоскости ZU :

$$P=P_z; \quad M=0; \quad M_A = P_z \cdot L; \quad T_{кр} = P_z \cdot h.$$

Перемещения y , угол наклона Θ упругой линии и угол закручивания φ у вершины резца определяется по следующим формулам:

$$; \quad (4)$$

$$\Theta = \frac{PL^2}{2EJ} - \frac{M_{\text{в}}L}{EJ};$$

(5)

$$\varphi = \frac{T_{\text{кр}} \cdot L}{G \cdot J_{\text{кр}}}$$

(6)

где $E=2,0 \cdot 10^6$ МПа – модуль упругости материала ползуна 1 рода;

$G=0,804 \cdot 10^6$ МПа – модуль упругости материала ползуна 2 рода;

J – момент инерции площади поперечного сечения ползуна

относительно рассматриваемой главной оси инерции сечения, (M^4);

$J_{\text{кр}}$ – угловое сопротивление закручиванию ползуна, (M^4);

L – вылет ползуна, (мм);

$h=200$ мм – расстояние по оси X от вершины резца до оси ползуна;

Вылет ползуна L меняется в зависимости от сложности заготовки, его интервалы могут варьироваться от 0,58 м до 2,78 м.

Так как ползун в сечении имеет вид прямоугольника со сторонами a и b ($a=0,25$ м, $b=0,28$ м) и расположенным в центре окружности диаметром d ($d=0,20$ м), то момент инерции J площади поперечного сечения ползуна относительно рассматриваемой [6, 8] главной оси инерции сечения рассчитывается по формуле:

$$J = \frac{b \cdot a^3}{12} - \frac{\pi \cdot d^4}{64} ;$$

(7)

$$J = \frac{0,28 \cdot 0,25^3}{12} - \frac{3,14 \cdot 0,2^4}{64} = 2,8608 \cdot 10^{-4}, (м^4);$$

Угловое сопротивление закручиванию ползуна $J_{кр}$ определяется по формуле:

$$J_{кр} = 0,141 \cdot a^4 - 0,1 \cdot d^4$$

(6)

$$J_{кр} = 0,141 \cdot 0,25^4 - 0,1 \cdot 0,2^4 = 3,9078 \cdot 10^{-4}, (м^4);$$

Подставив численные значения (4) определим максимальный прогиб y при максимальном вылете ползуна и получистовой обработке:

$$= 0,0003416(м);$$

Расчеты прогиба y ползуна при разном вылете L и разных видах обработки (получистовая, чистовая и отделочная) приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Прогибы ползуна y при разном вылете L и разных силах P_z , в МКМ.

$L, м$	$P_{z1}, Н$	$P_{z2}, Н$	$P_{z3}, Н$	$y_1, мкм$	$y_2, мкм$	$y_3, мкм$
0,58	2671,3	327,3	67,5	1,322354322	0,162024478	0,033409918
0,8				10,0455401	1,230850988	0,253807399
1,3				37,25319016	4,564498928	0,941258452
1,8				94,87075093	11,62412901	2,397102362
2,2				170,8738353	20,93644022	4,317520347
2,78				341,6774413	41,86419917	8,633355426

Подставив численные значения (5) определим максимальный угол наклона упругой линии θ при максимальном вылете ползуна и получистовой обработке:

$$\theta = \frac{2671,3 \cdot 2,78^2}{2 \cdot 2,0 \cdot 10^{11} \cdot 2,8 \cdot 10^{-4}} - \frac{133,56 \cdot 2,78^2}{2,0 \cdot 10^{11} \cdot 2,8 \cdot 10^{-4}} = 0,010189 \text{ (град.)};$$

Расчеты угла наклона упругой линии θ при разном вылете L и разных видах обработки приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Углы наклона упругой линии θ при разном вылете L и разных силах P_z , в градусах.

$L, м$	$P_{z1}, Н$	$P_{z2}, Н$	$P_{z3}, Н$	$\theta_1, град$	$\theta_2, град$	$\theta_3, град$
0,58	2671,3	327,3	67,5	0,000381	0,000047	0,0000096
0,8				0,000766	0,000094	0,0000193
1,3				0,002133	0,000261	0,0000539
1,8				0,004185	0,000513	0,0001057
2,2				0,006318	0,000774	0,0001596
2,78				0,010189	0,001248	0,0002575

Подставив численные значения (6) определим максимальный угол закручивания φ при максимальном вылете ползуна и полустиковой обработке:

$$\varphi = \frac{534,3 \cdot 0,2}{0,8 \cdot 10^{11} \cdot 3,908 \cdot 10^{-4}} = 0,00265 \text{ (град.)}$$

Расчеты угла закручивания φ при разном вылете L и разных видах крутящих моментах $T_{кр}$ в таблице 5.

Таблица 5 - Углы закручивания φ при разном вылете L и разных крутящих моментах $T_{кр}$.

$L, м$	$T_{кр1}, Н/м$	$T_{кр2}, Н/м$	$T_{кр}, Н/м$	$\varphi_1, град$	$\varphi_2, град$	$\varphi_3, град$
0,58	534,26	65,46	13,5	0,00551	0,00006	0,00001
0,8				0,00765	0,00009	0,00002
1,3				0,00124	0,00015	0,00003
1,8				0,00172	0,00021	0,00004
2,2				0,00213	0,00025	0,00005
2,78				0,00265	0,00032	0,00006

Замена квадратной формы сечения ползуна на прямоугольную форму позволит увеличить его жесткость, уменьшить прогиб при максимальном вылете с 450мкм до 341мкм, что в значительной мере повышает точность

обработки изделий всего многоцелевого станочного комплекса. Уменьшение погрешностей прогиба и увеличение жесткости исполнительных органов в станочном комплексе позволит осуществить переход к новому ТУ с применением безлюдных технологий.

В связи с вышеизложенным, целесообразно заменить квадратную форму сечения ползуна многоцелевого станочного комплекса VM32 на прямоугольную форму сечения.

Литература

1. Руководство по эксплуатации станочного многофункционального комплекса VM 32, ООО «СП Седин-Шисс» 2008г.
2. Барановский Ю.В., Режимы резания металлов. Справочник. - М.: Машиностроение, 1972. - 497 с.
3. Чумак П.В., Технологические возможности многоцелевых станочных комплексов серии VM; С.Б. Бережной, П.В. Чумак; Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник) № 3 2014г., г.Краснодар Издательский Дом – Юг., с. 61-67
4. Каминская В.В., Левина З.М., Решетов Д.Н. Станины и корпусные детали металлорежущих станков: Москва 1960.
5. Решетова Д.Н. Детали и механизмы металлорежущих станков. В 2-х т.- М.: Машиностроение, 1972.- 663 с.
6. Левина З.М. Расчет и выбор конструктивных параметров направляющих качения: Руковод. материалы.- М.: ЭНИМС, 1961.-104 с.
7. Меницкий И.Д. Повышение несущей способности направляющих качения.- Станки и инструмент, 1978, №1, с.22.
8. Пинегин С В . Контактная прочность и сопротивление качению./ Изд.2-е, перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1969.- 242 с.

References

1. Rukovodstvo po jekspluatácii stanocznego mnogofunkcional'nogo kompleksa VM 32, ООО «SP Sedin-Shiss» 2008g.
2. Baranovskij Ju.V., Rezhimy rezanija metallov. Spravochnik. - M.: Mashinostroenie, 1972. - 497 s.
3. Chumak P.V., Tehnologicheskie vozmozhnosti mnogocelovyh stanocnyh kompleksov serii VM; S.B. Berezhnoj, P.V. Chumak; Nauka. Tehnika. Tehnologii (politehnicheskij vestnik) № 3 2014g., g.Krasnodar Izdatel'skij Dom – Jug., s. 61-67
4. Kaminskaja V.V., Levina Z.M., Reshetov D.N. Staniny i korpusnye detali metallorzhushhih stankov: Moskva 1960.
5. Reshetova D.N. Detali i mehanizmy metallorzhushhih stankov. V 2-h t.- M.: Mashinostroenie, 1972.- 66Z s.
6. Levina Z.M. Raschet i vybor konstruktivnyh parametrov napravljajushhih kachenija: Rukovod. materialy.- M.: JeNIMS, 1961.-104 s.
7. Menickij I.D. Povyshenie nesushhej sposobnosti napravljajushhih kachenija.- Stanki i instrument, 1978, №1, s.22.

8. Pinegin S V . Kontaknaja prochnost' i soprotivlenie kacheniju./ Izd.2-e, pererab. i dop.- M.: Mashinostroenie, 1969.- 242 s.