

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 22.12.2021 15:43:36  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра автомобилей, транспортных систем и процессов

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
О. Г. Локтионова  
« 15 » \_\_\_\_\_ 2017 г.



### ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА ТРАНСПОРТНЫХ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Методические указания к выполнению практических работ  
для студентов направления подготовки 23.03.03 Эксплуатация  
транспортно-технологических машин и комплексов  
профиль «Автомобильный сервис»

Курск 2017

УДК 621.4

Составитель А.А. Толкушев

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей, транспортных систем и процессов *Б.А.Семенихин*

**ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА ТРАНСПОРТНЫХ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ:** методические указания к выполнению практических работ для студентов направления подготовки 23.03.03. Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, профиль "Автомобильный сервис" / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. А.А. Толкушев. Курск, 2017. 27 с.: ил.. Библиогр.: с.27.

Содержат методические указания к практическим занятиям по дисциплине "Основы технологии производства и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования". Предназначены для студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов профиль «Автомобильный сервис»

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 14.12.17. Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 1,6. Уч.-изд. л. 1,4 . Тираж 100 экз. Заказ. Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## Содержание

1.Расчет усилия при холодной клепке.....	4
2.Расчет параметров при тепловой сборке .....	6
3. Расчет времени осаждения электрохимических покрытий..	8
4.Определение усилия при запрессовке (распрессовке).....	10
5.Расчет изменения степени сжатия у двигателей внутреннего сгорания после капитального ремонта.....	13
Библиографический список.....	27

## 1. Расчет усилия при холодной клепке

Для заклепок диаметром до 14-20 мм при холодной клепке усилие, в ньютонах, определяют как

$$P = k \cdot d^{1,75} \cdot \sigma_B^{0,75}$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от формы головки

для сферической формы  $k=28,6$ ;

для плоской, потайной  $k=26,2$ ;

для плоской  $k=15,2$ ;

для трубчатой или полутрубчатой  $k=4,33$ ;

$d$  – диаметр заклепки в м;

$\sigma_B$  – временное сопротивление на разрыв материала заклепки в паскалях (Па).

При горячей клепке заклепки из стали нагревают до температуры 1050 – 1100<sup>0</sup>С, заканчивают клепку при температуре 450 – 500<sup>0</sup>С. Усилие клепки 65-80 кН на 1 см<sup>2</sup> сечения стержня заклепки.

Таблица 1

Предел прочности на растяжение материалов заклепки.

материал	$\sigma_B$ (Мпа)
Сталь	330
Медь	210
Латунь	280
Алюминий	90

По заданию преподавателя рассчитать усилие при клепке и построить график зависимости усилия клепки от диаметра заклепки

Для расчета брать диаметры (мм): 6,8,10,12,14. Вариант задания выбирать по последней цифре номера зачетки

Таблица 2  
Варианты задания

Вариант	Материал	Форма головки
1.	Сталь	Сферическая
2.	Медь	Потайная, плоская
3.	Латунь	Трубчатая полутрубчатая
4.	Алюминий	Сферическая
5.	Латунь	Плоская
6.	Медь	Сферическая
7.	Сталь	Плоская
8.	Медь	Трубчатая, полутрубчатая
9.	Латунь	Сферическая
10.	Алюминий	Потайная, плоская

## 2. Расчет параметров тепловой сборки.

При тепловой сборке соединений с натягом необходимо рассчитать температуру нагрева охватывающей детали или температуру охлаждения охватываемой детали. При расчете необходимо помнить, что температура нагрева детали не должна изменить структуру, полученную ранее при термической обработке.

Температура нагрева охватывающей детали

$$T_2 = 20^{\circ}\text{C} + \frac{N+Z}{d \cdot \alpha_2 \cdot 10^6}$$

Температура охлаждения охватываемой детали

$$T_1 = 20^{\circ}\text{C} - \frac{N+Z}{d \cdot \alpha_1 \cdot 10^6}$$

где  $N$  – максимальный вероятностный натяг, (мкм),

$Z$  – технологический зазор (мкм), необходимый для сборки;

$d$  – диаметр сопряжения, (м);

$\alpha_1, \alpha_2$  – коэффициенты линейного температурного расширения при нагреве.

Индекс 1 соответствует охватываемой детали, индекс 2 охватывающей.

При переносе детали из нагревательных устройств на сборочные позиции идет охлаждение нагретой детали или нагрев охлажденной детали.

Температура в момент выгрузки,  $^{\circ}\text{C}$ :

$$T_B = T + \frac{T_H - T}{e^{-kt}}$$

где  $T$  – температура окружающего воздуха (для расчетов принять  $20^{\circ}\text{C}$ );

$T_H$  – температура нагрева детали;

$t$  – время переноса детали к месту сборки;

$k$  – коэффициент, зависящий от размеров и конфигурации детали.

По заданию преподавателя определить минимальный и максимальный натяг посадки и рассчитать температуру нагрева охватывающей детали и температуру охлаждения охватываемой детали и температуры выгрузки детали. Вариант задания выбирать по последней цифре номера зачетки

Таблица 1

Коэффициенты линейного температурного расширения

Материал	Коэффициент линейного расширения $\alpha$ , $^{\circ}\text{C}^{-1}$
Сталь	$12 \cdot 10^{-6}$
Чугун	$10 \cdot 10^{-6}$
Бронза	$19 \cdot 10^{-6}$
Латунь	$19 \cdot 10^{-6}$

Таблица 2

Варианты заданий

Номер варианта	Диаметр вала	Диаметр втулки	k	материал	
				вал	втулка
1	$40_{+0,043}^{+0,068}$	$40^{+0,039}$	0,21	сталь	сталь
2	$90_{+0,071}^{+0,093}$	$90^{+0,035}$	0,15	сталь	чугун
3	$125_{-0,025}$	$125_{-0,068}^{-0,028}$	0,18	сталь	бронза
4	$68_{-0,019}$	$68_{-0,051}^{-0,021}$	0,23	сталь	латунь
5	$240_{+0,084}^{+0,113}$	$240^{+0,046}$	0,12	чугун	сталь
6	$135_{+0,092}^{+0,117}$	$135^{+0,04}$	0,22	чугун	бронза
7	$246_{+0,14}^{+0,169}$	$246^{+0,046}$	0,14	сталь	сталь
8	$96_{+0,051}^{+0,073}$	$96^{+0,035}$	0,26	сталь	чугун
9	$123_{+0,092}^{+0,117}$	$123^{+0,04}$	0,20	чугун	сталь
10	$48_{+0,043}^{+0,068}$	$48^{+0,039}$	0,17	сталь	латунь

### 3. Расчет времени осаждения электрохимических покрытий

Электрохимические (электролитические) покрытия применяются при ремонте автомобилей для восстановления поверхностей изношенных деталей (хромирование, железнение), защиты от коррозии, декоративных целей, улучшение прирабатываемости деталей в узлах, защиты от науглераживания при цементации.

При электролизе положительно заряженные ионы (катионы) перемещаются к катоду, где получают недостающие электроны и превращаются в металл. Отрицательно заряженные ионы (анионы) перемещаются к положительно заряженному электроду, где теряют свой электрический заряд и превращаются в нейтральные атомы. На катоде выделяется металл + H<sub>2</sub>, на аноде – кислотные остатки + O<sub>2</sub>.

Масса металла Q на катоде по закону Фарадея

$$Q = \alpha \cdot I \cdot T_{\text{осажд.}}$$

Где  $\alpha$  – электрохимический эквивалент (г/Ач);

I – сила тока при электролизе (А);

T осажд. - продолжительность электролиза (час).

В электролите помимо ионов металла присутствуют другие заряженные частицы, поэтому неизбежны потери электроэнергии. Они учитываются коэффициентом  $\eta$ :

$$\eta = (G_2 - G_1) \cdot Q$$

где G<sub>2</sub> – масса детали после электролиза (г);

G<sub>1</sub> – масса детали после электролиза (г).

В технологических расчетах время осаждения в часах определяется как:

$$T_{\text{осажд.}} = \frac{1000 \cdot \gamma \cdot h}{\alpha \cdot \eta \cdot D_{\text{к}}}$$

где  $\gamma$  – плотность осаждаемого металла (г/см<sup>3</sup>);

$\alpha$  – электрохимический эквивалент (г/А\*ч);

$\eta$  – коэффициент потерь (%);



$D_k$  – катодная плотность тока ( $\text{а/дм}^2$ );

$h$  – толщина покрытия (мм).

Таблица 1

Данные для технологических расчетов электролиза.

Металл покрытия	$\gamma$ , $\text{г/см}^3$	$\alpha$ , $\text{г/А*ч}$	$\eta$ , (%)	$h$ , (максимальная эффективная толщина покрытия)
Хром	6,9...7,1	0,324	11...32	0,3 мм
Железо	7,7...7,8	1,042	85...95	1,0...1,5 мм
Никель	8,8	1,095	90...94	2...60 мкм
Медь	8,9	1,186	80...90	До 25 мкм
Цинк	7,0	1,22	97...99	6...24 мкм

Катодная плотность тока и температура электрохимического нанесения покрытий берется из соответствующих справочников.

Для расчетов, по заданию преподавателя, для хромирования следует брать  $D_k = 35...48 \text{ А/дм}^2$ , для железнения  $D_k = 50..80 \text{ А/дм}^2$ , для никелирования  $D_k = 10...15 \text{ А/дм}^2$ , для цинкования  $D_k = 1...3 \text{ А/дм}^2$ , для меднения  $D_k = 8...20 \text{ А/дм}^2$

По заданию преподавателя рассчитать время осаждения покрытия. Вариант задания выбирать по последней цифре номера зачетки из таблицы 2.

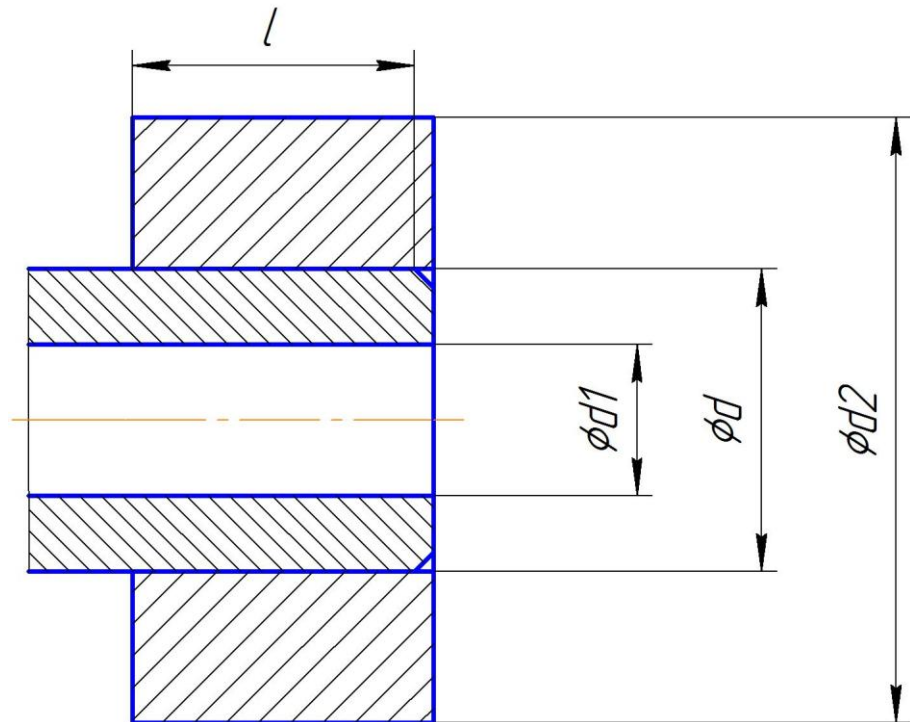
Таблица 2

Варианты задания.

Вариант задания	Материал покрытия	Толщина покрытия
1	хром	0,2 мм
2	железо	0,8 мм
3	цинк	20 мкм
4	никель	40 мкм
5	медь	10 мкм
6	хром	0,3 мм
7	железо	1,0 мм
8	никель	20 мкм
9	хром	0,1 мм
10	железо	0,5 мм

#### 4. Определение усилия при запрессовке (распрессовке)

При проектировании отдельных сборочных операций возникает необходимость расчета по определению усилий для сборки и разборки соединений с натягом. Соединения с гарантированным натягом осуществляют холодной запрессовкой или путем тепловой сборки, но распрессовку чаще всего осуществляют на холодную.



При запрессовке наибольшая сила, необходимая для сборки

$$F=f \cdot \pi \cdot d \cdot l \cdot p$$

Где  $f$  – коэффициент трения на контактной поверхности;  
 для сопряжений втулка-вал сталь-сталь  $f=0,22$ ; сталь-чугун  $f=0,4$ ; сталь-бронза (латунь)  $f=0,1$

$d$  – номинальный диаметр сопряжения м.;

$L$  – длина сопрягаемых поверхностей м.,

$p$  – давление на поверхности контакта Па.

$$p_{\max} = (N_{\max} - j) / d \cdot (C_1 / E_1 + C_2 / E_2) \cdot 10^6 \text{ Па}$$

где  $N_{\max}$  – максимальный вероятностный натяг посадки, мкм.;

$j$  – поправка на обмятие микронеровностей, мкм.;

$d$  – номинальный диаметр сопрягаемых деталей в м.

$E$  – модуль упругости, Па;

$C_1, C_2$  – коэффициенты зависящие от соотношения размеров сопрягаемых деталей и свойств их материалов.

$$C_1 = (1 + (d_1/d)^2) / (1 - (d_1/d)^2) - \mu; \quad C_2 = (1 + (d/d_2)^2) / (1 - (d/d_2)^2) + \mu;$$

Также можно для вычисления коэффициентов  $C_1, C_2$  пользоваться формулами:

$$C_1 = ((d + d_1^2) / (d - d_1^2)) - \mu_1; \quad C_2 = ((d_2 + d^2) / (d_2 - d^2)) + \mu_2;$$

где  $d$  – номинальный диаметр сопряжения,

$d_1$  – диаметр отверстия вала,

$d_2$  – диаметр втулки наружный.

$\mu$  – коэффициент Пуассона соответствующей детали

Величины с индексом 1 относятся к охватываемым деталям, с индексом 2 к охватывающим.

Для сплошного вала  $d_1 = 0$ ,  $C_1 = 1 - \mu_1$ .

Для корпуса или плиты  $C_2 = \mu_2$ .

Физико-механические свойства материалов указаны в таблице 1

Таблица 1

Физико-механические свойства некоторых материалов

материал	$E$ , Па	$\mu$	материал	$E$ , Па	$\mu$
сталь	$2,1 \cdot 10^{11}$	0,3	Оловянистая бронза	$1 \cdot 10^{11}$	0,3
чугун	$1 \cdot 10^{11}$	0,25	Безоловянистая бронза	$1,1 \cdot 10^{11}$	0,35

По заданию преподавателя определить минимальный и максимальный натяг посадки рассчитать усилие холодной запрессовки-распрессовки. Вариант задания выбирать по последней цифре номера зачетки.

Таблица 2  
Варианты задания.

Номер варианта	Диаметр вала	Диаметр втулки	материал	
			вал	втулка
1	$40 \begin{smallmatrix} +0,068 \\ +0,043 \end{smallmatrix}$	$40^{+0,039}$	сталь	сталь
2	$90 \begin{smallmatrix} +0,093 \\ +0,071 \end{smallmatrix}$	$90^{+0,035}$	чугун	сталь
3	$125_{-0,025}$	$125 \begin{smallmatrix} -0,028 \\ -0,068 \end{smallmatrix}$	сталь	бронза
4	$68_{-0,019}$	$68 \begin{smallmatrix} -0,021 \\ -0,051 \end{smallmatrix}$	сталь	латунь
5	$240 \begin{smallmatrix} +0,113 \\ +0,084 \end{smallmatrix}$	$240^{+0,046}$	чугун	сталь
6	$135 \begin{smallmatrix} +0,117 \\ +0,092 \end{smallmatrix}$	$135^{+0,04}$	чугун	бронза
7	$246 \begin{smallmatrix} +0,169 \\ +0,14 \end{smallmatrix}$	$246^{+0,046}$	сталь	сталь
8	$96 \begin{smallmatrix} +0,073 \\ +0,051 \end{smallmatrix}$	$96^{+0,035}$	чугун	сталь
9	$123 \begin{smallmatrix} +0,117 \\ +0,092 \end{smallmatrix}$	$123^{+0,04}$	чугун	сталь
10	$48 \begin{smallmatrix} +0,068 \\ +0,043 \end{smallmatrix}$	$48^{+0,039}$	сталь	латунь

### 5. Расчет силы закрепления в оправке с закреплением торцов.

Момент  $M_1$  на зажимающем торце шайбы 3 который исключает проворачивание заготовки 2 под действием силы резания  $P_z$  (сила действует на диаметре  $D_1$ ) должен быть больше момента  $M_2$  который возникает от силы резания при обработке диаметра  $D_1$  то есть  $M_1 > M_2$  где:

$$M_1 = Q \frac{D+d}{4} f; \quad M_2 = P_z \frac{D_1}{2}$$

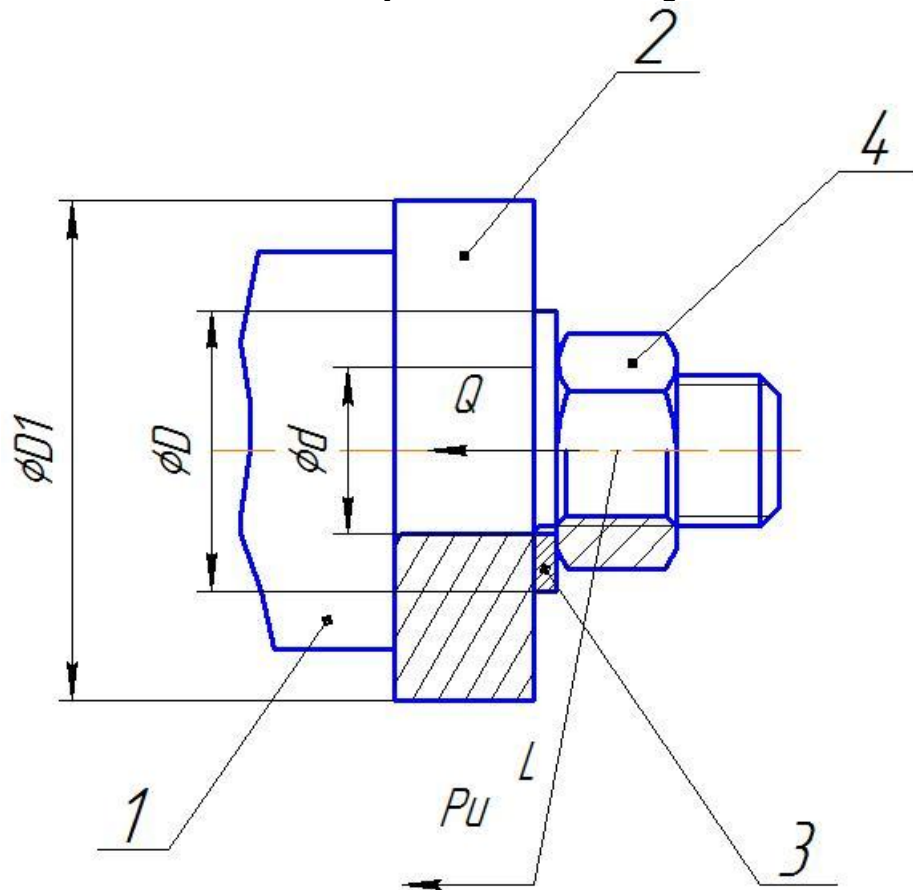


Рис. 1 Схема оправки с закреплением торцов с помощью гайки.

1- оправка, 2- заготовка. 3 шайба, 4 гайка.

Приравнивая моменты, и введя коэффициент запаса  $K$ , получим необходимое условие затягивания которое должно создать силу  $Q$ , обеспечивающую надежное закрепление заготовки.

$$Q = 2 P_z K \frac{D_1}{(D+d)f}$$

где  $P_z$  – сила резания, Н;

$D_1$  – диаметр обработки, мм;

$D$  – наружный диаметр шайбы мм;

$d$  – внутренний диаметр шайбы мм;

$f$  – коэффициент трения (0,2...0,3)

К – коэффициент запаса (1,5...1,8).

Для нахождения исходного усилия на рукоятке ключа  $P_{и}$ , которым мы затягиваем гайку 4 необходимо знать длину ключа  $L$  и размеры резьбы.

$$P_{и} = \frac{r_{ср.} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{пр.}) + \frac{1}{3} f \frac{D_{н}^3 - d^3}{D_{н}^2 - d^2}}{L} Q$$

Где  $Q$  – усилие зажима, Н;

$P_{и}$  – исходное усилие на рукоятке, Н;

$L$  – плечо на котором прилагается усилие  $P_{и}$  в мм,

$r_{ср.}$  - средний диаметр резьбы винта, мм,

$\alpha$  - угол подъема резьбы винта (для метрической резьбы с крупным шагом  $\alpha = 2^{\circ}30'$ );

$\varphi_{пр.}$  – приведенный угол трения в резьбе ( $\varphi_{пр.} = 10^{\circ}30'$ );

$d$  - диаметр резьбы винта, мм;

$f$  - коэффициент трения между опорным торцом и заготовкой ( $f=0,1...0,15$ );

$D_{н}$  – наружный диаметр опорного торца гайки, мм (равен  $D$ ).

Для варианта, указанного преподавателем найти усилие на конце рукоятки приспособления.

Варианты задания.

Таблица.

варианты	Сила резания $P_z$ , Н	$D_1$ , мм	$D$ , мм	$d$ , мм	$L$ , мм
1	900	110	100	20	600
2	890	115	110	18	650
3	920	120	115	16	550
4	850	110	100	20	650
5	1050	120	105	20	600
6	1000	115	110	18	650
7	850	100	90	16	600
8	800	95	80	16	650
9	850	105	90	20	650
10	930	110	95	16	680

## **6. Расчет изменения степени сжатия у двигателей внутреннего сгорания после капитального ремонта.**

Цель работы: исследовать влияние размерных параметров деталей кривошипно-шатунного механизма двигателей, подвергаемых ремонтному воздействию, на изменение степени сжатия.

Детали, инструменты, приборы, принадлежности.

Детали двигателя.

Студентам предлагаются детали (б/у) двигателя (ВАЗ, ЗМЗ или др.); блок цилиндров, головка, поршни, пальцы, шатуны, коленчатый вал, вкладыши шатунные и коренные – по одному комплекту каждого типа двигателя. Всего 2-3 комплекта.

Инструменты, приборы принадлежности.

Для выполнения измерений размеров, влияющих на изменение степени сжатия студентам предлагаются следующие измерительные средства:

- плита поверочная 750x750 (500x500);
- штанген-инструменты: штангенциркули с диапазоном измерения 0-250 мм (0-320 мм); микрометры 0-25 мм; 25-50 мм и 50-75 мм; штангенглубиномеры 0-300 мм; штангенрейсмасы; нутромер индикаторный.

Краткие теоретические положения.

Повышение качества ремонта двигателей – является важнейшим фактором увеличения его долговечности. Совершенствование технологии ремонта направлено на увеличение межремонтного срока службы и доведение его до значений, близких к сроку службы новых двигателей.

Среди многих факторов, определяющих качество ремонтного воздействия изменение степени сжатия против номинального значения.

Экономичность двигателя с увеличением степени сжатия должна возрастать, но в связи с ростом механических потерь

степень сжатия можно увеличивать до определенного значения. Степень сжатия должна быть такой, чтобы не появлялась детонация. Величина степени сжатия в карбюраторных двигателях прежде всего зависит от их конструкции и антидетонационных свойств топлива.

Детонация – особый вид сгорания, протекающий при ненормально высоких скоростях распространения фронта пламени. Как показывает опыт, работа с детонацией приводит к резкому возрастанию износа верхней части цилиндров, быстрому разрушению поршней, клапанов, подшипников жидкостного трения.

Для каждого типа двигателя установлено свое оптимальное значение степени сжатия и повышение или понижение относительно оптимального значения крайне нежелательно.

Степень сжатия  $\varepsilon$  определяется выражением:

$$\varepsilon = \frac{V_h}{V_c} + 1, \quad (1)$$

где  $V_h$  – рабочий объем цилиндра;

$V_c$  – занимаемый газами в конце такта сжатия или объем камеры сгорания.

Колебание степени сжатия зависит от колебания значений объемов  $V_h$  и  $V_c$ .

Рабочий объем цилиндра определяется по формуле:

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} S, \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр цилиндра;

$S$  – ход поршня;

Изменение  $V_h$  связано с изменением значений  $D$  и  $S$ . Диаметр цилиндра при ремонте увеличивается вследствие расточки под ремонтные размеры. Величина хода поршня зависит в основном от погрешности радиуса кривошипа коленчатого вала. Эта погрешность мала по сравнению с величиной хода поршня.



Поэтому можно считать, что рабочий объём цилиндра зависит только от диаметра цилиндра.

Объём камеры сгорания  $V_C$  зависит от большого числа погрешностей. И если при изготовлении двигателя эти погрешности невелики, то при ремонте некоторые из них достигают существенных значений и в сумме заметно влияют на изменение степени сжатия.

Детали, подвергаемые ремонту, изменяют свои размеры, так как не все размеры восстанавливаются до нормальной величины.

Рассмотрим, как изменяются размеры отдельных деталей.

В шатуне под действием износа и деформации изменяется размер отверстия в нижней головке шатуна. В том случае если ремонт производят расточкой, предварительно снимая металл с плоскостей разъема шатуна и крышки, не уточняя межцентрового расстояния шатуна, расстояние между осями отверстий в головках шатуна оказывается уменьшенным на величину полусуммы припусков  $\frac{П1 + П2}{2}$ , снимаемых с шатуна и крышки. А это приводит к увеличению объема камеры сгорания и уменьшению степени сжатия.

Шатунные шейки коленчатого вала чаще всего изнашиваются с внутренней стороны. Поэтому при перешлифовке под ремонтные размеры с равным припуском на обработку – радиус кривошипа оказывается увеличенным.

Нижняя привалочная плоскость головки цилиндров, подвергшаяся деформации и короблению, при ремонте фрезеруется или шлифуется. Глубина камер сгорания при этом уменьшается на величину снятого припуска; объём камеры сгорания уменьшается – степень сжатия увеличивается.

При значительной деформации или износе постелей коренных подшипников, их растачивают, но перед этим с плоскостей разъема снимают слой металла фрезерованием или шлифованием. От этого расстояние от оси отверстий постели до верхней плоскости

уменьшается. Это также ведёт к уменьшению объёма камеры сгорания и увеличению степени сжатия.

Гильзы цилиндров при капитальном ремонте растачивают, а затем хонингуют в один из ремонтных размеров. Увеличение диаметра цилиндра приводит к увеличению, степени сжатия.

Кроме изменения размеров в результате ремонтных воздействий, на изменение степени сжатия влияют погрешности обработки, ограничение допусками на изготовление или ремонт, согласно чертежей завода или технических условий.

Зная фактическую точность размеров, влияющих на величину степени сжатия, можно рассчитать действительную величину степени сжатия, которая будет в цилиндрах двигателя после капитального ремонта. Расчёт можно производить с применением методов теории размерных цепей.

Из большого числа размеров, направленных вдоль оси цилиндров, можно выделить размеры, колебание которых приводит к изменению величины степени сжатия. Согласно теории размерных цепей, основные положения которой изложены в стандартах ГОСТ 16319 и ГОСТ 16320, названные выше размеры должны образовывать замкнутую цепь, в которой колебание каждого составляющего звена приводит к изменению размера замыкающего звена. Замыкающим является звено, величина которого непосредственно связана с функциональным параметром двигателя – степенью сжатия, и которое не выдерживается преднамеренно, а получается как результат сочетания действительных величин составляющих звеньев.

В данной размерной цепи замыкающим звеном является расстояние от верхнего торца гильзы цилиндров до днища поршня при его положении в верхней мертвой точке.

Существуют методы расчета размерных цепей, которые в результате обеспечивают полную или неполную (ограниченную) взаимозаменяемость.

К первому методу относится метод максимума и минимума, основанный на предположении, что при обработке или сборке

возможно одновременное сочетание максимальных и минимальных размеров звеньев. Оба случая сочетания размеров звеньев маловероятны, метод характеризуется низкой точностью замыкающего звена [5, с.580].

Ко второму методу относятся метод, основанный на теоретико-вероятностных расчетах. Метод базируется на данных многочисленных исследований, которые показывают, что отклонения размеров группируются в основном около середины поля допуска и сочетание деталей с такими отклонениями наиболее часты. Сочетания же размеров с предельными значениями отклонений крайне редки.

Особенностью данной размерной цепи является то, что в ней имеются звенья – зазоры, которые под действием газовых и инерционных сил выбираются в одну сторону.

Составление размерной цепи начинаем от замыкающего размера  $B_{\Sigma}$  - расстояния от днища поршня до днища головки.

Схема размерной цепи показана на рисунке 1. Составляющими звеньями размерной цепи являются:

$B_1$  – размер поршня от днища до оси отверстия по дпоршневой палец;

$B_2$  – расстояние между осями отверстий в головках шатуна;

$B_3$  – размер кривошипа;

$B_4$  – высота головки цилиндра после ремонта (после фрезерования или шлифования плоскости со стороны прилегания к блоку цилиндров);

$B_5$  – толщина прокладки;

$B_6$  – высота блока;

$B_7$  – расстояние от верхней плоскости головки блока до

Головка для устранения короблений, фрезеруется в размер, значение которого отразится на степени сжатия то есть на размере  $B_{\Sigma}$ . Изменение размера  $B_{\Sigma}$  решено компенсировать изменением размера  $B_2$ . Размер  $B_2$  будет определяться индивидуально для каждого двигателя с его конкретным размером  $B_4$

Уравнение размерной цепи :

$$B_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m B_{i_{y\delta}} - \sum_{m+1}^n B_{i_{ym}} = B_4 + B_5 + B_6 - (B_1 + B_2 + B_3 + B_7)$$

Зная действительный размер головки  $B_4$  после механической обработки, а также требуемый размер  $B_{\Sigma}$ . определим размер шатуна  $B_2$  решением размерной цепи относительно размера  $B_2$ .

$$B_2 = B_4 + B_5 + B_6 - B_1 + B_3 + B_7; \quad T_{B_{\Sigma}} = \sum T_{B_i}$$

$$T_{B_{\Sigma}} = T_{B_1} + T_{B_2} + T_{B_3} + T_{B_4} + T_{B_5} + T_{B_6} + T_{B_7}$$

$$T_{B_2} = T_{B_{\Sigma}} - (T_{B_1} + T_{B_3} + T_{B_4} + T_{B_5} + T_{B_6} + T_{B_7})$$

Составим таблицу размеров с допусками

Основные характеристики звеньев РЦ

Звенья	Номинальные размеры	Передаточные отношения	Координаты середины полей допусков	Половина поля допуска	Коэф. фф. относительно го рассеивания	Коэф. ф.	

Решается проверочная задача. Известны допуски размеров всех составляющих звеньев

Расчет параметров замыкающего звена  $B_{\Sigma}$  в данной работе производится двумя указанными выше методами. В результате

расчета должны быть получены предельные значения размера звена  $B_{\Sigma}$ .

В обоих случаях расчет начинается с определения номинального значения размера замыкающего звена  $B_{\Sigma}$  по формуле:

$$B_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m B_{i_{ув}} - \sum_{m+1}^n B_{i_{ум}} ; \quad (3)$$

где  $B_{i_{ув}}$  – номинальные размеры увеличивающих звеньев размерной цепи, мм;

$B_{i_{ум}}$  – номинальные размеры уменьшающихся звеньев размерной цепи, мм;

$m$  – число увеличивающих звеньев размерной цепи;

$n$  – число уменьшающихся звеньев размерной цепи.

Предельные отклонения – верхнее  $\Delta S_{B_{\Sigma}}$  и нижнее  $\Delta I_{B_{\Sigma}}$  для замыкающего звена при расчете методом максимума и минимума можно определить, используя формулы для определения допуска замыкающего звена  $T_{B_{\Sigma}}$  по известным допускам составляющих звеньев и среднего отклонения поля допуска замыкающего звена  $\Delta C_{\Sigma}$ .

$$T_{B_{\Sigma}} = \sum_{i=1}^{m+n} T_{B_i} , \quad (4)$$

где  $T_i$  – допуск  $i$ -го составляющего звена размерной цепи, мкм;

$$\Delta C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \Delta C_{ув} - \sum_{i=1}^n \Delta C_{ум} , \quad (5)$$

где  $\Delta C_{\Sigma}$  – среднее отклонение поля допуска замыкающего звена, мкм;

$\Delta C_{ув}$  и  $\Delta C_{ум}$  – средние отклонения полей допусков увеличивающих и уменьшающихся звеньев, мкм.

Верхнее  $\Delta S_{\Sigma}$  и нижнее  $\Delta T_{\Sigma}$  отклонения замыкающего звена определим по формулам:

$$\Delta S_{\Sigma} = \Delta C_{\Sigma} + \frac{1}{2} T_{B_{\Sigma}}$$

$$\Delta I_{\Sigma} = \Delta C_{\Sigma} - \frac{1}{2} TB_{\Sigma} \quad (6)$$

Предельные значения величины замыкающего звена определим из выражений:

$$\begin{aligned} B_{\Sigma} \max &= B_{\Sigma} + \Delta S_{\Sigma} \\ B_{\Sigma} \min &= B_{\Sigma} + \Delta I_{\Sigma} \end{aligned} \quad (7)$$

Полученный по формулам (7) результат, как отмечалось выше, неточен, потому что предельные значения  $B_{\Sigma} \max$  и  $B_{\Sigma} \min$  мало вероятны.

Расчет вторым, теоретико-вероятностным методом, выполним в такой же последовательности с использованием других формул.

После решения основного уравнения (3), определим значение  $TB'_{\Sigma}$  по формуле:

$$TB'_{\Sigma} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} \sqrt{\sum^{m+n} \lambda_i^2 TB_i^2}, \quad (8)$$

где  $\lambda_{\Sigma}$  и  $\lambda_i$  – коэффициент относительного рассеивания, соответственно для замыкающего и составляющих звеньев,  $\lambda_i = 2\sigma_i / TB_i$ .

Для нормального закона, которому подчиняется распределение действительных размеров деталей кривошипно-шатунного механизма при  $T = 6\sigma_I$ ,

$$\lambda_i = \frac{2\sigma_i}{6\sigma_i} = \frac{1}{3}$$

Положение координаты середины поля допуска замыкающего звена определим по формулам:

$$\Delta'_{C_{\Sigma}} + \alpha_{\Sigma} \frac{TB_{\Sigma}}{2} = \sum^m (\Delta C_{yв} + \alpha_{yв} \frac{TB_{yв}}{2}) - \sum^n (\Delta C_{yм} + \alpha_{yм} \frac{TB_{yм}}{2}), \quad (9)$$

где  $\alpha_{\Sigma}$ ,  $\alpha_{yв}$  и  $\alpha_{yм}$  – коэффициенты относительной асимметрии для замыкающего и составляющих звеньев; Для симметричных кривых  $\alpha = 0$  и уравнение принимает вид уравнения (5).

Дальнейшие расчеты параметров замыкающего звена с учетом вероятностных характеристик составляющих звеньев выполняем по формулам (6) и (7); В пределах, полученных расчетом, для допуска

$T_{B_{\Sigma}}$ , при нормальном законе рассеивания значений замыкающего звена, значения этого звена находятся с вероятностью 99,73 %.

Отклонения объема камеры сгорания  $V_c$  от номинальной величины подсчитываем по формуле:

$$\Delta V_c = \sqrt{\Delta V_1^2 + \Delta V_2^2 + \Delta V_3^2}, \quad (10)$$

где  $\Delta V_1$ ,  $\Delta V_2$ ,  $\Delta V_3$  – отклонение объемов  $V_1$ ,  $V_2$ , и  $V_3$  от номинальных величин.

$V_1$  – часть объема камеры сгорания, расположенная в головке цилиндров;

$V_2$  – часть объема камеры сгорания, занимаемая прокладкой между блоком и головкой цилиндров;

$V_3$  – часть объема камеры сгорания, расположенная в цилиндре, между верхней кромкой гильзы и днищем поршня.

Колебание величины замыкающего звена приводит к колебанию слагаемого  $V_3$  и степени сжатия  $\varepsilon$ .

#### Порядок проведения работы

1. Студенты получают от преподавателя задание, которое содержит номинальные размеры новых деталей кривошипно-шатунного механизма, с указанием предельных отклонений. Детали б/у КШМ двигателя того же типа, которые должны быть тщательно промерены. Размеры заносят в таблицу.
2. Для измерения размеров деталей б/у КШМ двигателя необходимо наметить и построить схемы измерения размеров – звеньев размерных цепей и выбрать средства измерения в соответствии с величиной и точностью размеров, которые требуется измерять.
3. Заполняют две таблицы одинаковой формы и готовят исходные данные для расчета размерных цепей (см. табл.1).
4. Изображают эскиз механизма с указанием на нем размеров, связанных с замыкающим звеном  $B_{\Sigma}$ .
5. Выявляют и строят размерную цепь.
6. Производят расчеты степени сжатия для двух вариантов сборки – из новых деталей или деталей подвергнутых ремонтному воздействию.

7. Студентам предлагается комплект деталей шатунно-кривошипного механизма, у которых необходимо измерить по одному размеру – звену размерной цепи, изображенной на рисунке 1б.
8. Используя основное уравнение (3), определим действительное значение замыкающего звена.
9. Зная объем камеры в головке цилиндров, толщину прокладки и действительное значение расстояния между торцами гильзы и днищем поршня в положении верхней мертвой точки, определим объем камеры сгорания и действительную степень сжатия по формуле (2).

### Содержание отчёта по практической работе.

Отчет должен состоять из следующих разделов:

1. Цель выполнения работы.
2. Детали, инструменты и приборы, предлагаемые студенту для выполнения данной работы.
3. Краткие теоретические положения. В данном разделе студент приводит эскизы и схемы размерных связей деталей КШМ, влияющие на изменение степени сжатия; кратко освещает методы размерного анализа с применением теории размерных цепей.
4. Таблицы с размером деталей КШМ новых и б\у, с указанием для новых предельных отклонений (см. таблицу 1). Для деталей б\у и подлежащих ремонту указываются соответствующие ремонтные размеры и отклонения, которые необходимо выдержать.
5. Схемы выполнения измерений 3-4<sup>x</sup> деталей по размерам, которые являются звеньями размерных цепей. При этом, средства измерения студент избирает в соответствии с точностью измеряемого размера. Схемы должны быть представлены в виде рисунков.
6. Расчёт степени сжатия по размерам новых деталей. Расчёт выполняется по приведённым выше формулам двумя методами.



7. Расчёт степени сжатия по размерам б\у деталей. Расчёт так же выполняется двумя методами.
8. Расчет объёмов  $V_h$  и  $V_c$ , полученных при расчетах размерных цепей двумя методами и для комплектов из новых деталей и б\у.
9. Расчет степеней сжатия для всех вариантов расчета (всего 4 варианта).
10. Ознакомиться с допустимыми нормами на отклонение степени сжатия от номинальной для соответствующего двигателя
11. Выводы: выводы по работе должны носить конструктивный характер. Студенту предлагается найти способ сохранения степени сжатия в установленных пределах при наличии деталей, достигших крайних ремонтных размеров.

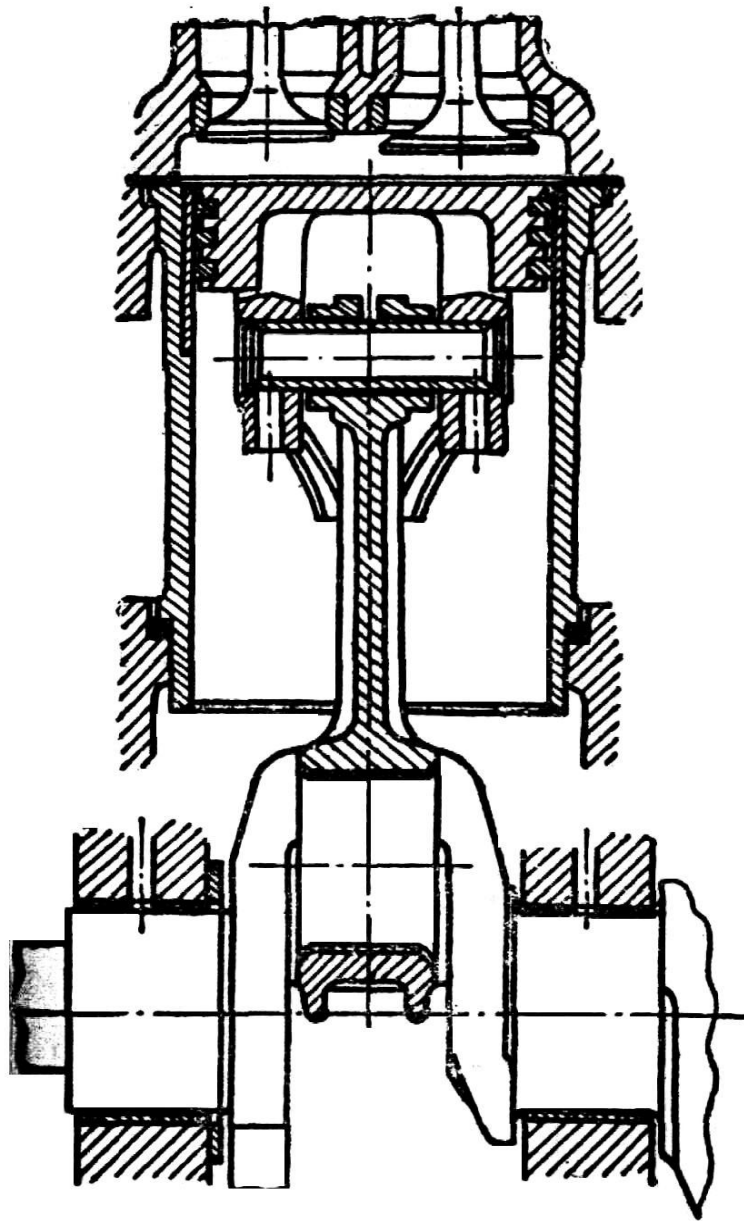


Рис.1 Схема кривошипно-шатунного механизма с поршнем в ВМТ;

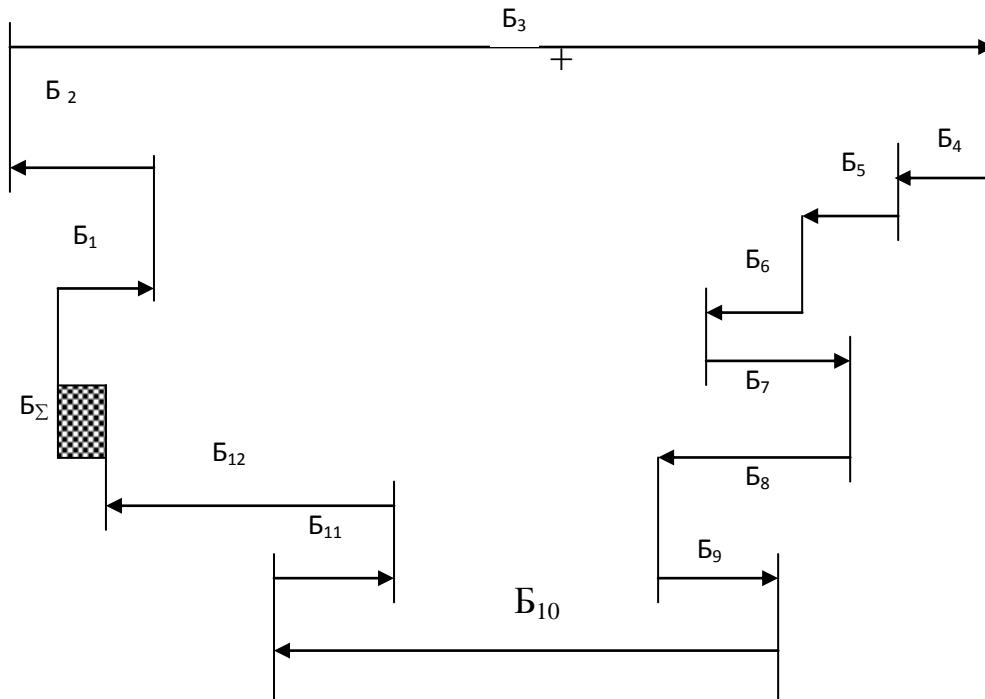


Рис.2. Размерная цепь, определяющая степень сжатия в цилиндре двигателя

Таблица 1.

## Основные характеристики звеньев размерной цепи

Звенье	Номинальные размеры звеньев и предельные отклонения	Передаточные отношения	Координаты середины полей допусков $\Delta C$ , мм;	Половина поля допуска $T_B/2$ , мм;	Коэф. относительного рассеивания отклонений, $\lambda_i$	Коэф-т относительной асимметрии центра группирования $\alpha_i$	Технологическая операция-
Б <sub>1</sub>	$5^{+0,055}_{+0,030}$	1	0,0425	0,0125	1,4	-0,2	Точение
Б <sub>2</sub>	$5^{+0,025}$	-1	0,0125	0,0125	1,4	0	Растачивание
Б <sub>3</sub>	$269 \pm 0,12$	1	0	0,120	2,5	-0,1	Фрезерование
Б <sub>4</sub>	$4 \pm 0,07$	-1	0	0,070	1,4	0	Фрезерование
Б <sub>6</sub>	$0 \pm 0,125$	-1	0	0,125	1,2	-0,3	Растачивание
Б <sub>7</sub>	$0^{+0,071}_{+0,026}$	1	+0,0495	0,0225	1,14	-0,1	Зазор
Б <sub>8</sub>	$46 \pm 0,05$	-1	0	0,050	6	0	Шлифование
Б <sub>9</sub>	$0^{+0,065}_{+0,026}$	+1	+0,0455	0,0195	1,13	-0,1	Зазор
Б <sub>10</sub>	$168^{+0,05}_{-0,50}$	-1	-0,225	0,275	3,2	0	Развертывание
Б <sub>12</sub>	$51 \pm 0,05$	-1	0	0,050	5	0	Развертывание

### Библиографический список

1. Технология машиностроения: Сборник задач и упражнений: Учеб. пособие /В.И.Аверченков и др. Под общ. Ред. В.И. Аверченкова и Е.А. Польского. – 2-е изд. Перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2005 – 228 с.- (Высшее образование).
2. Синельников А.Ф. Основы технологии производства и ремонт автомобилей: Учеб. пособие для студ. Учреждений высш. проф. образования/ А.Ф.Синельников. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 320с.
3. Краткий справочник металлиста/ под общ. Ред. П.Н. Орлова, Е.А. Скороходова. – 3-е изд., прераб. И доп. М.:Машиностроение, 1987. -960 с.ил.
4. Ремонт автомобилей: Учебник для вузов/ Л.В. Дехтеринский, К.Х.Акмаев, В.П. Апсин и др.; под ред. А.В. Дехтеринского. - М.; Транспорт, 1992 - 295с. ил, табл.
5. Допуски и посадки. Справочник в 2-х ч. 4.2\под ред. В.Д. Мягкова: 5-е издание, перераб. и доп. Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-е, 1979 - с.545 - 1032, ил.
6. Ремонт автомобилей: Учебник \ Румянцев С.И., Борщов В.Ф., Бодлев А.Г. и др. Под ред. С.И. Румянцева - М. ТРАНСПОРТ, 1981-462 с., 210 ил., 60 табл.
7. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта \ М-во автомоб. трансп. РСФСР-М, Транспорт, 1986 - 72с.