

Библиографический список

1. Ульянов А.Н. Овцеводство: учебник. – Барнаул, 2008. – 460 с.
2. Ладугина А.Н. Настриг и качество шерсти овец нерчинского заводского типа забайкальской тонкорунной породы // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2004. – № 1. – С. 27-28.
3. Житенко П.В., Кирилук Б.И. Обработка и оценка животноводческого сырья. – М.: Россельхозиздат, 1983 – 183 с.
4. Костюков А.Ф. Метод ультразвукового контроля параметров сельскохозяйственного волоконного сырья: дис. ... канд. техн. наук; 05.20.02; защищена 30.03.12. – Барнаул, 2012. – 141 с.
5. Багаев А.А., Калинин Ц.И., Куницын Р.А. Повышение точности контроля объемной плотности неупорядоченных волоконных сред с помощью ультразвуковых датчиков // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2/2. – С. 8-12.
6. Багаев А.А., Калинин Ц.И., Куницын Р.А. Ультразвуковой прибор для исследования меринской шерсти // Ползуновский вестник – 2010. – № 2. – С. 57-59.
7. Резинов В.Г., Куницын Р.А., Багаев А.А. Анализ влияния параметров измерительного канала и ультразвуковой волны на величину акустического давления при измерении тонины волоконных сельскохозяйственных материалов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 11 (109). – С. 107-111.
8. Способ определения тонины волокон. Патент № 2465582, G01N29/00, 2006 г. Российская Федерация, МПК G01N29/00 / Калинин Ц.И., Куницын Р.А., Багаев А.А., ФГОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет». – № 2011116334/28, заявл. 25.04.2011 г.

References

1. Ul'yanov A.N. Ovtsevodstvo: uchebnik. – Barnaul, 2008. – 460 s.
2. Ladugina A.N. Nastrig i kachestvo shersti ovets nerchinskogo zavodskogo tipa za-baikal'skoi tonkorunnoi porody // Ovttsy, kozy, sherstyanoe delo. – 2004. – № 1. – S. 27-28.
3. Zhitenko P.V., Kirilyuk B.I. Obrabotka i otsenka zhivotnovodcheskogo syr'ya. – M.: Rossel'khozizdat, 1983 – 183 s.
4. Kostyukov A.F. Metod ul'trazvukovogo kontrolya parametrov sel'skokhozyaistvennogo volokonnoogo syr'ya: dis. ... kand. tekhn. nauk; 05.20.02. – Zashchishchena 30.03.12. – Barnaul, 2012. – 141 s.
5. Bagaev A.A., Kalinin Ts.I., Kunitsyn R.A. Povyshenie tochnosti kontrolya ob'emnoi plotnosti neuporyadochennykh volokonnykh sred s pomoshch'yu ul'trazvukovykh datchikov // Polzunovskii vestnik. – 2011. – № 2/2 – /S. 8-12.
6. Bagaev A.A., Kalinin Ts.I., Kunitsyn R.A. Ul'trazvukovoi pribor dlya issledovaniya merinosnoi shersti // Polzunovskii vestnik. – 2010 – № 2 - S. 57-59.
7. Rezinov V.G., Kunitsyn R.A., Bagaev A.A. Analiz vliyaniya parametrov izmeritel'nogo kanala i ul'trazvukovoi volny na velichinu akusticheskogo davleniya pri izmerenii toniny volokonnykh sel'skokhozyaistvennykh materialov // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 11 (109). – S. 107-111.
8. Sposob opredeleniya toniny volokon. Patent № 2465582, G01N29/00, 2006 g. Rossiiskaya Federatsiya, MPK G01N29/00 / Kalinin Ts.I., Kunitsyn R.A., Bagaev A.A., FGOU VPO «Altaiskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet». – № 2011116334/28, zayavl. 25.04.2011 g.



УДК 631.372

В.Н. Кузнецов, В.И. Беляев, Ф.П. Мельников
V.N. Kuznetsov, V.I. Belyayev, F.P. Melnikov

**РАСЧЕТ ДАВЛЕНИЯ ВО ВПУСКНОМ КОЛЛЕКТОРЕ
 МНОГОЦИЛИНДРОВОГО ДВИГАТЕЛЯ**

CALCULATION OF INTAKE MANIFOLD PRESSURE IN MULTI-CYLINDER ENGINE

Ключевые слова: газораспределительный механизм, впускной коллектор, диагностирование, расчет давления, математическая модель, волновые процессы, течение газа, адекватность модели.

Разработана математическая модель работы газораспределительного механизма, позволяющая оценить изменение давления во впускном трубопроводе на всех участках подъема клапана для

последующего диагностирования ГРМ. Установлен закон изменения высоты подъема клапана в зависимости от угла поворота коленчатого вала, рассчитана скорость течения газа во впускном коллекторе как функция высоты подъема клапана и скорость движения поршня, а также давление во впускном коллекторе с учетом волновых процессов. Для применения уравнения неразрывности потока при вычислении скоростей истечения газов через клапанную щель предлагается использовать

некоторую корректирующую функцию, позволяющую получить значения скорости истечения при малых высотах подъема клапана, близких к реальным. При составлении математической модели были приняты допущения, что скорость вращения коленчатого вала постоянна; газодинамические процессы пренебрежимо малы; относительное давление в начальный момент равно 0; термодинамическими свойствами газа, в связи с их малостью, можно пренебречь. Проведена проверка адекватности предложенной математической модели описания процесса изменения давления во впускном коллекторе ДВС. Погрешность расчетов не превышает 5%, поэтому модель может быть использована при диагностировании газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания.

Keywords: valve train, intake manifold, diagnosis, pressure calculation, mathematical model, wave process, gas flow, adequacy of model.

A mathematical model of valve train has been developed; the model enables estimating the pressure change in the intake manifold at all valve stroke

positions for further diagnosis of the valve train. The law of the degree of valve lift change depending on the crank angle has been found; the gas flow rate in the intake manifold as a function of valve lift and piston velocity has been calculated as well as the intake manifold pressure based on the wave processes. To apply the flow continuity equation when calculating the rates of gas efflux through the valve port, it is proposed to use some correction function which enables obtaining the values of gas efflux rates at low valve lifts which are close to actual values. When developing the mathematical model the following is assumed: the crankshaft revolution rate is constant; the gas-dynamic processes are negligible; the relative pressure at the starting moment equals zero; the thermodynamic properties of the gas are negligible due to their smallness. The adequacy of the proposed mathematical model describing the process of intake manifold pressure in internal combustion engine has been validated. The calculation error does not exceed 5% so the model may be used to diagnose the valve train of internal combustion engine.

Кузнецов Василий Николаевич, аспирант, Бийский технологический институт (филиал), Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Тел.: (3854) 306714. E-mail: kusnezow2508@gmail.com.

Беляев Владимир Иванович, д.т.н., проф., Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3854) 62-35-99. E-mail: prof-Belyaev@yandex.ru.

Мельников Федор Петрович, доцент, Бийский технологический институт (филиал), Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Тел.: (3854) 306714. E-mail: at@bti.secna.ru.

Kuznetsov Vasily Nikolayevich, Post-Graduate Student, Biysk Technological Institute (Branch) of Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. Ph.: (3854) 306714. E-mail: kusnezow2508@gmail.com.

Belyaev Vladimir Ivanovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Altai State Agricultural University. Ph.: (3854) 62-35-99. E-mail: prof-Belyaev@yandex.ru.

Melnikov Fyodor Petrovich, Assoc. Prof., Biysk Technological Institute (Branch) of Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. Ph.: (3854) 306714. E-mail: at@bti.secna.ru.

Введение

Одним из путей повышения эффективности диагностирования ГРМ является способ, связанный с изменением давления во впускном коллекторе.

При диагностировании ГРМ по изменению давления во впускном коллекторе необходимо исследовать процессы, происходящие во впускном коллекторе двигателя. Исследование процессов невозможно без математического описания исследуемых объектов, т.е. без математических моделей.

В существующих математических моделях работы ГРМ используются различные допущения, имеющие целый ряд недостатков [1-6].

Целью работы является разработка математической модели работы газораспределительного механизма, позволяющей оценить изменение давления во впускном трубопроводе на всех участках подъема клапана для последующего диагностирования ГРМ.

Для достижения цели необходимо установить закон изменения высоты подъема клапа-

на в зависимости от угла поворота коленчатого вала; рассчитать скорость течения газа во впускном коллекторе как функцию высоты подъема клапана и скорости движения поршня, а также давление во впускном коллекторе с учетом волновых процессов; проверить адекватность разработанной модели.

При составлении математической модели были приняты допущения, что скорость вращения коленчатого вала постоянна; газодинамические процессы пренебрежимо малы; относительное давление в начальный момент равно 0; термодинамическими свойствами газа, в связи с их малостью, можно пренебречь.

Теоретическое исследование

Для расчета изменения давления во впускном патрубке каждого цилиндра может быть использовано уравнение (1), которое базируется на теории уединенных волн, предложенной М.А. Хайловым [4].

Изменение давления во впускном патрубке каждого цилиндра в период открытого состояния клапана определяется выражением:

$$\Delta P_i = \frac{a_0 \cdot \gamma_0}{g} \cdot \omega \cdot r \cdot \frac{F_{\Pi}}{F_{\text{ТР}}} \sin(\varphi), \quad (1)$$

где a_0 – скорость звука;
 γ_0 – удельный вес воздуха;
 g – ускорение свободного падения;
 ω – угловая частота вращения коленчатого вала;
 r – радиус кривошипа;
 F_{Π} – площадь поперечного сечения цилиндра;
 $F_{\text{ТР}}$ – площадь поперечного сечения трубопровода;

φ – угол поворота коленчатого вала.

При составлении уравнения М.А. Хайловым были приняты некоторые допущения [4]:

1) скорость поршня определяется выражением $v_{\Pi}(\varphi) = \omega \cdot r \cdot \sin(\varphi)$;

2) клапан открывается мгновенно до максимальной величины, а затем мгновенно закрывается;

3) площадь поперечного сечения трубопровода постоянна $F_{\text{ТР}} = \text{const}$;

4) скорость течения газа во впускном коллекторе пропорциональна скорости поршня и вычисляется из уравнения неразрывности $V_{\text{К}} = \frac{F_{\Pi} v_{\Pi}(\varphi)}{i \cdot F_{\text{ТР}}}$.

Результаты исследования

Движение воздуха во впускном трубопроводе сопровождается колебаниями его скорости и давления, вызываемыми неравномерным движением поршня. Также необходимо учитывать изменение площади проходного сечения впускного трубопровода, поэтому уравнение (1) требует некоторых уточнений:

1. Скорость поршня вычисляется из выражения (2) [7]:

$$v_{\Pi}(\varphi) = r \cdot \omega \cdot \left[\sin(\varphi) + \left(\frac{r}{2L} \right) \cdot \sin(2 \cdot \varphi) \right], \quad (2)$$

где φ – угол поворота коленчатого вала;

L – длина шатуна;

ω – угловая частота вращения коленчатого вала;

r – радиус кривошипа.

2. Закон подъема клапана определяется профилем кулачка и изменяется от угла поворота коленчатого вала.

3. Площадь поперечного сечения клапанной щели изменяется в зависимости от высоты подъема клапана [1]:

$$F_{\text{щ}} = \begin{cases} \pi \cdot h \cdot \cos \theta \left[d + \left(\frac{h}{2} \right) \cdot \sin(2 \cdot \theta) \right], & h < b \cdot \sin \theta \\ \pi \cdot \frac{D+d}{2} \sqrt{\left(\frac{D-d}{2} \right)^2 + \left(h - \frac{D-d}{2} \cdot \tan \theta \right)^2}, & h > b \cdot \sin \theta \\ \frac{\pi}{4} (d^2 - d_{\text{шт}}^2), & h \approx h_{\text{max}} \end{cases} \quad (3)$$

где d – диаметр горловины впускного коллектора;

$d_{\text{шт}}$ – диаметр штока клапана;

D – диаметр цилиндра;

h – высота подъема клапана;

b – ширина фаски клапана;

θ – угол наклона фаски.

4. Из уравнения неразрывности потока следует, что скорость изменяется от бесконечности (при высоте подъема клапана, стремящейся к нулю) до минимального значения, соответствующего максимальному открытию клапана. В реальных же двигателях скорости истечения не превышают 80-200 м/с [8].

Для применения уравнения неразрывности потока при вычислении скоростей истечения газов через клапанную щель предлагается использовать некоторую корректирующую функцию, позволяющую получить значения скорости истечения при малых высотах подъема клапана, близких к реальным.

Корректирующая функция должна отвечать следующим требованиям:

- должна быть непрерывной;
- не нарушать размерность уравнения;
- резко возрастать от нуля при малых высотах подъема клапана;
- стремиться к единице на остальных участках открытия клапана.

Таким образом, скорость течения газов во впускном коллекторе определяется выражением:

$$v_{\text{К}} = \frac{v_{\text{К1}} \cdot f_{\text{К1}}}{f_{\text{К}}} \cdot f_1. \quad (4)$$

После закрытия впускного клапана волна разрежения движется по коллектору, отражается от дроссельной заслонки и возвращается к месту своего возникновения (к клапану). Если процесс изменения давления у закрытого конца трубопровода под действием основной волны начался с положения коленчатого вала, который соответствует моменту 0-0 (рис. 1), то до момента 1-1, определяющего возвращение отраженной волны от дроссельной заслонки к клапану, он будет определяться законом основной волны. После этого добавляется воздействие отраженной от дроссельной заслонки волны совместно с воздействием ее отражения от клапана. Начиная с момента 1-1, у клапана будут действовать: основная волна, волна, отраженная от дроссельной заслонки, и отражение последней от клапана.

Схема суммирования волн показана на рисунке 1 [4].

Волна, которая вернулась после отражения от дроссельной заслонки к клапану и претерпевшая отражение, снова перемещается к дроссельной заслонке, где она вновь отражается и к моменту 2-2 опять возвращается к клапану. При перемещениях волны вдоль трубопровода и отражениях у обоих его концов происходит последовательное уменьшение ее амплитуды, связанное с за-

тратой энергии на преодоление сил внешнего (о стенки трубопровода) и внутреннего трений и с рассеиванием при отражениях. Таким образом, во впускном коллекторе действует основная волна разрежения и множество её отражений.

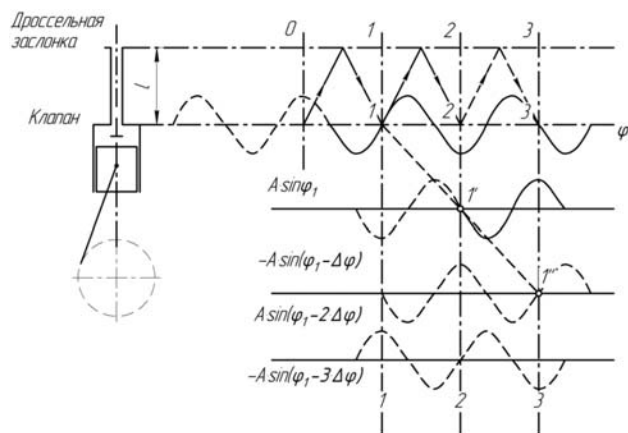


Рис. 1. Схема суммирования волн у клапана

Раскладывая в ряд Фурье волну разрежения, действующую в период открытого состояния клапана, получаем зависимость изменения давления во впускном коллекторе двигателя с учетом колебаний [4]:

Основная волна разрежения m -й гармоники:

$$\Delta P_{m0} = \frac{a_0 \cdot Y_0}{g} \cdot A_{m1} \cdot \sin(\varphi_{m1} + \delta_{m1}) \quad (5)$$

Для j отражения основной волны разрежения m -й гармоники:

$$\Delta P_{mj} = e^{-jk\Delta t} \cdot \frac{a_0 \cdot Y_0}{g} \cdot A_{m1} \cdot \sin(\varphi_{m1} + \delta_{m1} - j \cdot \Delta \varphi_{mj}) \quad (6)$$

где k – коэффициент затухания;

Δt – время двукратного перемещения волны по трубопроводу;

$\Delta \varphi_{mj}$ – сдвиги фаз, связанные с перемещением волны по трубопроводу;

j – номер отражения основной волны.

Изменение давления во впускном патрубке каждого цилиндра с учетом колебаний можно рассчитать по формуле:

$$\Delta P_i = \Delta P_{m0} + \Delta P_{m1} + \Delta P_{m2} + \dots + \Delta P_{mj} \quad (7)$$

Изменение давления во впускном коллекторе многоцилиндрового двигателя рассчитывается по формуле:

$$\Delta P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta P_i \quad (8)$$

Математическая задача проверки адекватности модели формулируется как задача проверки предположения о том, что значение отклика модели W_{Σ} отличается от реального отклика системы W не более чем на заданную величину ε [9].

Для определения адекватности модели воспользуемся формулой относительной погрешности:

$$\delta = \frac{W_{\Sigma} - W}{W} \cdot 100\% \quad (9)$$

где W_i – значение реального отклика системы;

W_{Σ} – значение отклика модели системы.

Вычитая значения из кривых 1 и 2 и подставив полученные значения в (9), получим относительную погрешность, равную 4,9%.

Так как $\delta \leq 5\%$, то принятую модель можно считать приемлемой и достаточно точно описывающей процессы, происходящие во впускном коллекторе двигателя внутреннего сгорания.

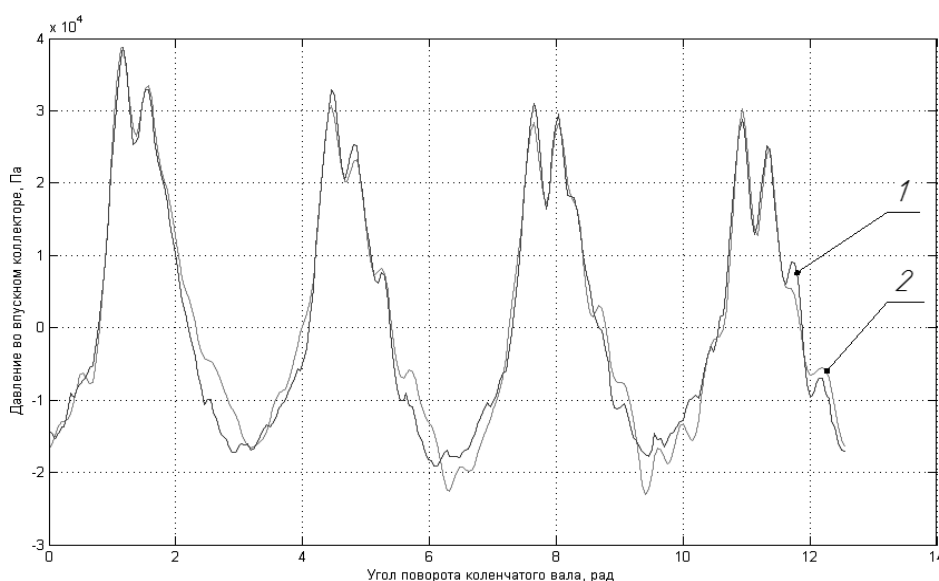


Рис. 2. Кривые изменения давления во впускном коллекторе двигателя: 1 – экспериментальная кривая; 2 – теоретическая кривая

Выводы

Предлагаемая математическая модель адекватно отражает процесс изменения давления во впускном коллекторе и может быть использована при диагностировании ГРМ ДВС (погрешность не превышает 5%).

Библиографический список

1. Дьяченко В.Г. Газообмен в двигателях внутреннего сгорания: учеб. пособие – Киев: УМК ВО, 1989. – 204 с.
2. Беляев В.А., Кузнецов В.Н., Мельников Ф.П., Яркин А.В. Повышение качества диагностирования газораспределительного механизма ДВС // Управление качеством образования, продукции и окружающей среды: матер. 6-й Всерос. науч.-практ. конф. (6-7 июля 2012 г.) / под ред. д.т.н., проф. А.Г. Овчаренко. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2012. – С. 250-253.
3. Мельников Ф.П., Кузнецов В.Н. Математическая модель для расчета давления во впускном коллекторе одноцилиндрового двигателя // Совершенствование конструкции, эксплуатации и технического сервиса автотракторной и сельскохозяйственной техники: матер. Междунар. науч.-практ. конф. (19-20 декабря 2013 г.). – Уфа: Башкирский ГАУ, 2013. – С. 247-253.
4. Хайлов М.А. Расчетное уравнение колебания давления во всасывающем трубопроводе двигателя внутреннего сгорания // Труды Мин. авиационной промышленности СССР. – М.: Изд-во бюро новой техники, 1948. – № 152. – 16 с.
5. Круглов М.Г., Меднов А.А. Газовая динамика комбинированных двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1988. – 360 с.
6. Dinesh Prabhu B. Theory and Design of Automotive Engines. – Mandya: KARNATAKA, 2007. – 288 p.
7. Колчин А.И., Демидов В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособ. – М.: Высш. шк., 2008. – 496 с.
8. Кузнецов В.Н., Мельников Ф.П. Определение потерь давления в клапанной щели двигателя внутреннего сгорания // Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса: матер. II Междунар. науч.-практ. конф. (г. Новокузнецк, 29 ноября – 1 декабря 2012 г.). – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2012. – 326 с.

9. Чуюн Р.К. Методы математического моделирования двигателей летательных аппаратов: учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 1988. – 288 с.

References

1. D'yachenko V.G. Gazoobmen v dvigatelaykh vnutrennego sgoraniya: ucheb. posob. – Kiev: UMK VO, 1989. – 204 s.
2. Belyaev V.A., Kuznetsov V.N., Mel'nikov F.P., Yarkin A.V. Povyshenie kachestva diagnostirovaniya gazoraspre-delitel'nogo mekhanizma DVS // Upravlenie kachestvom obrazovaniya, produktsii i okruzhayushchei sredy: mater. 6-i Vserossiiskoi nauch.-prakt. konf. 6-7 iyulya 2012 g. / pod red. d.t.n., professora A.G. Ovcharenko. – Biisk: Izd-vo Alt. gos. tekhn. un-ta, 2012. – S. 250-253.
3. Mel'nikov F.P., Kuznetsov V.N. Matematicheskaya model' dlya rascheta davleniya vo vpusknom kollektore odnotsilindrovogo dvigatelya // Sovershenstvovanie konstruksii, ekspluatatsii i tekhnicheskogo servisa avtotraktornoi i sel'skokhozyaistvennoi tekhniki: mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 19-20 dekabrya 2013 g. – Ufa: Bashkirskii GAU, 2013. – S. 247-253.
4. Khailov M.A. Raschetnoe uravnenie kolebaniya davleniya vo vsasyvayushchem truboprovode dvigatelya vnutrennego sgoraniya – Trudy № 152 Min. aviatsionnoi promyshlennosti SSSR. – M.: Izd-vo byuro novoi tekhniki, 1948. – 16 s.
5. Kruglov M.G., Mednov A.A. Gazovaya dinamika kombinirovannykh dvigatelei vnutrennego sgoraniya. – M.: Mashinostroenie, 1988. – 360 s.
6. Dinesh Prabhu B. Theory and Design of Automotive Engines. – Mandya: KARNATAKA, 2007. – 288 p.
7. Kolchin A.I., Demidov V.P. Raschet avtomobil'nykh i traktornykh dvigatelei: ucheb. posob. – M.: Vyssh. shk., 2008. – 496 s.
8. Kuznetsov V.N., Mel'nikov F.P. Opredelenie poter' davleniya v klapannoi shcheli dvigatelya vnutrennego sgoraniya. – Perspektivy razvitiya i bezopasnost' avtotransportnogo kompleksa: mater. II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Novokuznetsk, 29 noyabrya - 1 dekabrya 2012 g. – Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2012. – 326 s.
9. Chuyan R.K. Metody matematicheskogo modelirovaniya dvigatelei letatel'nykh apparatov: ucheb. posob. – M.: Mashinostroenie, 1988. – 288 s.

