

*Байсагуров Султан Шахидович, студент Института транспортной техники и систем управления ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»*

*Ашастов Сергей Сергеевич, студент Института транспортной техники и систем управления ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»*

*Силюта Анатолий Геннадьевич, к.т.н., доцент кафедры «Электропоезда и локомотивы» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»*

## **ОЦЕНКА ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ НА ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ НУЖДЫ АВТОНОМНОГО ЛОКОМОТИВА**

**Аннотация:** Одним из методов расчета затрат энергии автономного локомотива на обеспечение работы собственно силовой установки и ведения состава является оценка средней мощности агрегатов локомотива в процессе эксплуатации. Для оценки производительности локомотива и его топливной экономичности такой подход можно считать удовлетворительным, так как ошибка в вычислениях полного расхода топлива локомотивом в этом случае не превышает 5 %. При выборе конструкции локомотива, его вспомогательного оборудования и способа питания агрегатов собственных нужд принятая оценка энергозатрат может оказаться неудовлетворительной. Например, при наличии на локомотиве накопителя энергии агрегаты локомотива могут быть запитаны как непосредственно от дизеля, так и через накопитель и преобразователь. В первом случае увеличивается время работы дизеля на холостом ходу, во втором появляются дополнительные затраты энергии, связанные с КПД накопителя и преобразователя. При этом точность оценки энергетических затрат на вспомогательные нужды необходимо повысить.

**Ключевые слова:** тепловоз, автономный локомотив, условия эксплуатации, вспомогательное оборудование, затраты энергии.

**Abstract:** One of the methods for calculating the energy costs of an autonomous locomotive for ensuring the operation of the power plant itself and maintaining the train is to estimate the average power of the locomotive units during operation. To assess the performance of a locomotive and its fuel efficiency, this approach can be considered satisfactory, since the error in calculating the total fuel consumption of a locomotive in this case does not exceed 5%. When choosing the design of the locomotive, its auxiliary equipment and the method of powering auxiliary units, the accepted estimate of energy costs may turn out to be unsatisfactory. For example, if the locomotive has an energy storage unit, the locomotive units can be powered both directly from the diesel engine and through the storage unit and converter. In the first case, the idling time of the diesel engine increases, in the second case, additional energy costs appear, associated with the efficiency of the drive and the converter. At the same time, the accuracy of estimating energy costs for auxiliary needs needs to be improved.

**Keywords:** diesel locomotive, autonomous locomotive, operating conditions, auxiliary equipment, energy costs.

Общие затраты энергии на обеспечение работы локомотива и ведение состава, исключая тяговые режимы, можно разбить на четыре условные группы [1], рассмотрим далее их более подробно.

**1) Затраты энергии, связанные с подготовкой тепловоза к работе (прокачка масла, пуск дизеля, зарядка батареи и накопителя), можно оценить на основе паспортных данных и характеристик локомотива. В первом приближении принимаем, что затраты не зависят от внешних условий и частоты пусков. Таким образом, для пуска необходимо осуществить ряд операций:**

- а) прокачка масла и топлива;
- б) раскрутка двигателя до пусковых оборотов;
- в) подача пускового топлива и выход на режим холостого хода;
- г) восполнение затрат энергии с помощью вспомогательного или тягового

генератора при работе силовой установки с частотой вращения холостого хода.

Рассчитаем затраты энергии при запуске дизель-генератора тепловоза 2ТЭ116.

Первый период продолжительностью  $t_{p_1}$ - предпусковая подготовка, продолжительность и затраты энергии которой зависят от интервала времени, прошедшего после последней остановки:

$$E_1 = (P_T \cdot \eta_T^{-1} + P_M \cdot \eta_M^{-1}) \cdot t_{p_1} ,$$

где  $P_T, P_M$ - мощность топливо- и маслопрокачивающего агрегата соответственно, Вт;  $\eta_T, \eta_M$ - КПД привода топливо- и маслопрокачивающего агрегата соответственно.

Для тепловоза 2ТЭ116 принимаем:

$$P_T = 660 \text{ Вт} , P_M = 4200 \text{ Вт} , \eta_T = 0,85 , \eta_M = 0,85 , t_{p_1} = 60 \text{ с}$$

$$E_1 = (660 \cdot 0,85^{-1} + 4200 \cdot 0,85^{-1}) \cdot 60 = 343058 \text{ Дж}$$

Второй период продолжительностью  $t_{p_2}$ -затраты энергии связаны с повышением кинетической энергии вращения дизеля и присоединенных агрегатов, а также с затратами энергии на трение в дизеле и агрегатах:

$$E_2 = E_{\text{кин}} + E_{\text{тр}} , \text{ или}$$

$$E_2 = 0,5 \cdot J_{\Sigma} \cdot \omega_{\text{ХХ}}^2 + \int_{\varphi=0}^{\varphi=\varphi_{\Sigma}} M_{\text{тр ХХ}} d\varphi ,$$

где  $J_{\Sigma}$ -суммарный момент инерции вращающихся деталей дизеля и присоединенных агрегатов,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $\omega_{\text{ХХ}}$  -частота вращения коленчатого вала на холостом ходу ,  $\text{рад/с}$ ;  $M_{\text{тр ХХ}}$  – момент трения в дизеле и агрегатах,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;  $\varphi$ - угол поворота коленчатого вала , $\text{рад}$ .

Для дизель-генератора 2ТЭ116 принимаем [2]:

$$J_{\Sigma} = 1000 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 , \omega_{\text{ХХ}} = 36,6 \text{ рад/с}$$

Момент трения при пуске можно представить в виде:

$$M_{\text{тр ХХ}} = A + k \cdot (\omega_{\text{ХХ}} - \omega_i)^2 ,$$

где  $A, k$ - постоянные коэффициенты;  $\omega_i$  -текущая частота вращения коленчатого вала , $\text{рад/с}$ .

Принимаем, что разгон коленчатого вала осуществляется с заданным

постоянным ускорением  $(d\omega/dt)$ , равным допустимому ускорению коленчатого вала  $5 \text{ рад/с}^2$ . Учитывая, что  $\varphi = \omega \cdot t$ , имеем:

$$t_{p_2} = \omega_{XX}/(d\omega/dt)$$

$$t_{p_2} = 36,6/5 = 7,2 \text{ с}$$

С учетом полученных значений перепишем выражение для  $E_2$ :

$$E_2 = 0,5 \cdot J_{\Sigma} \cdot \omega_{XX}^2 + (A + k \cdot \omega_{XX}^2) \cdot (d\omega/dt) \cdot 0,5 \cdot t_{p_2}^2 - 2 \cdot k \cdot \omega_{XX} \cdot (d\omega/dt)^2 \cdot (1/3) \cdot t_{p_2}^3 + k \cdot (d\omega/dt)^3 \cdot 0,25 \cdot t_{p_2}^4$$

Принимаем  $A = 778 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $k = 3,12 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с/рад}$ , тогда имеем:

$$E_2 = 0,5 \cdot 1000 \cdot 36,6^2 + (778 + 3,12 \cdot 36,6^2) \cdot (5) \cdot 0,5 \cdot 7,2^2 - 2 \cdot 3,12 \cdot 36,6 \cdot (5)^2 \cdot (1/3) \cdot 7,2^3 + 3,12 \cdot (5)^3 \cdot 0,25 \cdot 7,2^4 = 863917 \text{ Дж}$$

Третий период продолжительностью  $t_{p_3}$ -интервал времени от выхода на режим холостого хода до момента, когда затраченная в интервалах  $t_{p_1}$  и  $t_{p_2}$  энергия восполнена без тяговой нагрузки. Принимаем, что восполнение затраченной на первых двух этапах энергии производится при работе дизеля на частоте вращения холостого хода от тягового генератора.

Принимаем  $t_{p_3} = 15 \text{ с}$  [1], КПД тягового генератора  $\eta_{\Gamma} = 0,95[2^*,5^*]$ .

Тогда величина восполняемой энергии:

$$E_{\Sigma} = (E_1 + E_2) \cdot \eta_{\Gamma}^{-1} + M_{\text{ТР XX}} \cdot \omega_{XX} \cdot t_{p_3}$$

Для тепловоза 2ТЭ116 получим:

$$E_{\Sigma} = (343058 + 863917) \cdot 0,95^{-1} + 778 \cdot 36,6 \cdot 15 = 1697622 \text{ Дж}$$

При  $t_{p_3} = 15 \text{ с}$  индикаторная мощность дизеля:

$$P_i = E_{\Sigma}/t_{p_3}$$

$$P_i = \frac{E_{\Sigma}}{t_{p_3}} = \frac{1697,6}{15} = 113,2 \text{ кВт}$$

Используя разработанную математическую модель для расчета показателей дизель-генератора 18-9ДГ, для 15 позиции контроллера машиниста при нормальных внешних условиях  $T_0 = 293 \text{ К}$ ,  $P_0 = 101300 \text{ Па}$  [13, 14] имеем удельный индикаторный КПД двигателя  $\eta_i = 0,457$ . Восполнение затраченной энергии для одного пуска соответствует расходу

топлива:

$$B_T = P_i \cdot t_{p_3} / H_u / \eta_i$$

$$B_T = 113,2 \cdot 15 / 42700 / 0,457 = 0,087 \text{ кг}$$

Таким образом, для одного пуска дизеля тепловоза 2ТЭ116 необходимо затратить 0,087 кг топлива. Согласно приложению №1 к распоряжению ОАО «РЖД» от 02.04.2012 г. № 639р норма расхода топлива на пуск двигателя для 2ТЭ116 составляет 2,8 кг.

**2) Затраты энергии, на освещение, питание системы управления, зарядку аккумуляторных батарей, отопление и кондиционирование кабины и другие нужды, непосредственно не связанные с тяговой операцией,** принимаем постоянными для нормальных наружных условий [13]. При изменении наружных условий величина затрат будет изменяться в зависимости от колебаний наружной температуры. В первом приближении для тепловоза 2ТЭ116 потери энергии на приведенные выше нужды для нормальных наружных условий принимаем 5 кВт [2; 5].

**3) Затраты энергии на охлаждение теплоносителей и электрических машин.** На локомотивах разных серий затраты энергии на охлаждение зависят от характеристик тепловыделения (обусловленных мощностью) и конструкцией привода вентиляторов охлаждающих устройств.

В современных конструкциях тепловозов в системе охлаждения тяговых электрических машин и теплоносителей применяют регулируемый привод вентиляторов. На 2ТЭ116 установлена смешанная схема охлаждения тяговых электрических машин, в которую входят индивидуальная для тягового генератора и выпрямительной установки, а также две групповых для тяговых электродвигателей. Такая схема компоновки оборудования характерна для современных тепловозов, и раздача мощности на привод вспомогательных механизмов осуществляется карданными валами и распределительными редукторами. От последних энергия передается вентиляторам тяговых электродвигателей передней и задней тележек. Вентилятор тягового генератора приводится в действие непосредственно от дизеля. Привод вентиляторов

тяговых двигателей электрический, в систему охлаждения также входит индивидуальная система охлаждения полупроводниковых выпрямителей. Изменение производительности вентиляторов охлаждающих устройств обеспечивается периодическим отключением отдельных мотор-вентиляторов. Принимаем одинаковыми коэффициенты теплопередачи при охлаждении тяговых двигателей и тягового генератора [11] и, пренебрегая потерями в токопроводящих кабелях, получим:

$$P_{\text{ВЕНТ}} = C_p \cdot T_1 \cdot \left( \left( \frac{H + p_1}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \cdot \eta_B^{-1} \cdot G_B,$$

где  $P_{\text{ВЕНТ}}$  — мощность, необходимая для привода вентилятора, подающего воздух для охлаждения, Вт;  $C_p$  — теплоемкость воздуха при температуре  $T_1$ , Дж/кг/К;  $H$  — напор воздуха, необходимый для охлаждения тяговых двигателей и генератора, Па;  $\eta_B$  — КПД вентилятора;  $k$  — показатель адиабаты;  $G_B$  — расход воздуха, кг/с.

На основании сравнительного рассмотрения технических данных [7; 11], общее количество воздуха, охлаждающего тяговые электрические машины, для тепловозов равно 11-12,2 м<sup>3</sup>/с на каждый киловатт мощности (с учетом охлаждения выпрямительной установки тепловоза с передачей переменного тока 12,4-12,7 м<sup>3</sup>/с). Для тягового электродвигателя ЭД-118Б 2ТЭ116 из справочной литературы принимаем:  $P_{\text{ТЭД}} = 305$  кВт,  $G_B/P_{\text{ТЭД}} = 0,0041$  м<sup>3</sup>/с · кВт, тогда необходимый расход воздуха для трехосной тележки:

$$G_B = 3 \cdot 0,0041 \cdot 305 = 3,75 \text{ м}^3/\text{с}$$

Для тягового генератора ГС-501А 2ТЭ116 из справочной литературы принимаем:  $P_{\text{ТГ}} = 2190$  кВт,  $G_B/P_{\text{ТГ}} = 0,00205$  м<sup>3</sup>/с · кВт, тогда необходимый расход воздуха:

$$G_B = 0,00205 \cdot 2190 = 4,49 \text{ м}^3/\text{с}$$

Для выпрямительной установки 2ТЭ116 из справочной литературы принимаем необходимый расход воздуха  $G_B = 1,4$  м<sup>3</sup>/с.

При использовании эмпирических зависимостей для определения

необходимого расхода воздуха для охлаждения тяговых электродвигателей погрешность составляет не более 2%.

Для охлаждения тяговых электрических машин, выпрямительных установок, преобразователей частоты применяют преимущественно центробежные вентиляторы. На 2ТЭ116 установлены центробежные вентиляторы типа «Сирокко» с параметрами [7]:

$$H = 3,17 \text{ кПа}, \eta_B = 0,7$$

Из технических характеристик воздуха [15\*] для нормальных внешних условий принимаем:

$$C_p = 1,005 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$$

Таким образом, можно оценить требуемую мощность для охлаждения электрических машин:

-для тягового генератора:

$$P_{\text{ВЕНТ}} = 1,005 \cdot 10^3 \cdot 293 \cdot \left( \left( \frac{3,17 \cdot 10^3 + 101300}{101300} \right)^{\frac{1,41-1}{1,41}} - 1 \right) \cdot 0,7^{-1} \cdot 4,49$$
$$= 16,99 \text{ кВт} \approx 17 \text{ кВт}$$

На тепловозе 2ТЭ116 устанавливают вентилятор с номинальной мощностью 26 кВт.

-для вентилятора охлаждения тяговых электродвигателей тележки:

$$P_{\text{ВЕНТ}} = 1,005 \cdot 10^3 \cdot 293 \cdot \left( \left( \frac{3,17 \cdot 10^3 + 101300}{101300} \right)^{\frac{1,41-1}{1,41}} - 1 \right) \cdot 0,7^{-1} \cdot 3,75$$
$$= 14,19 \text{ кВт} \approx 14 \text{ кВт}$$

На тепловозе 2ТЭ116 устанавливают вентилятор с номинальной мощностью 26 кВт.

-для вентилятора охлаждения выпрямительной установки:

$$P_{\text{ВЕНТ}} = 1,005 \cdot 10^3 \cdot 293 \cdot \left( \left( \frac{3,17 \cdot 10^3 + 101300}{101300} \right)^{\frac{1,41-1}{1,41}} - 1 \right) \cdot 0,7^{-1} \cdot 1,4$$
$$= 5,3 \text{ кВт}$$

На тепловозе 2ТЭ116 устанавливают вентилятор с номинальной мощностью 7 кВт.

Таким образом, можно оценить среднюю мощность, необходимую на охлаждение электрических машин:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{ВЕНТ}} \cdot \eta_{\Pi}^{-1}, \text{ где}$$

$\eta_{\Pi}$ -КПД привода вентилятора.

Принимаем  $\eta_{\Pi} = 0,9$ , тогда:

$$P_{\Sigma} = 17 \cdot 0,9^{-1} + 2 \cdot 14 \cdot 0,9^{-1} + 5,3 \cdot 0,9^{-1} = 55,9 \text{ кВт}$$

Таким образом, на охлаждение электрических машин тепловоза ТЭ116 необходимо иметь 55,9 кВт.

При применении регулируемого привода вентиляторов охлаждения теплоносителей дизеля должны подать на радиаторы столько воздуха, чтобы отвести выделенное в двигателе количество теплоты. Из результатов тягово-теплотехнических испытаний двигателей известно отведенное количество теплоты от двигателя в зависимости от заданного эксплуатационного режима. Для дизеля 1А-5Д49 количество теплоты, выделенное в систему охлаждения, составляет 1,55 МДж/с при эффективной мощности 2200 кВт, что составляет 28% от количества теплоты, внесенного в цилиндры дизеля с топливом [8, 9].

Необходимую мощность вентилятора можно определить аналогично необходимой мощности для охлаждения электрических машин и аппаратов:

$$P_{\text{ВЕНТ}} = C_p \cdot T_1 \cdot \left[ \left( \left( \frac{H_1 + P_1}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \cdot \eta_{\text{В1}}^{-1} \cdot \left( Q_1 / (\alpha_1 \cdot F_1 \cdot (T_{w1} - T_{\text{В1}})) \right) + \left( \left( \frac{H_2 + P_1}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \cdot \eta_{\text{В2}}^{-1} \cdot \left( Q_2 / (\alpha_2 \cdot F_2 \cdot (T_{w2} - T_{\text{В2}})) \right) \right],$$

где  $H_1, H_2$  –напор вентиляторов первого и второго контуров охлаждения, Па;  $\eta_{\text{В1}}, \eta_{\text{В2}}$ - КПД вентиляторов;  $\alpha_1, \alpha_2, F_1, F_2$ - коэффициент теплопередачи и эффективная площадь теплообмена в первом и втором контуре охлаждения, Дж/К;  $T_{w1}, T_{w2}$  –допускаемая температура теплоносителей в первом и втором контурах охлаждения, К;  $T_{\text{В1}}, T_{\text{В2}}$ - текущая температура теплоносителей в первом и втором контурах охлаждения, К.



Выбираем диаметр вентилятора серии УК-2М  $D = 1,7$  м и КПД вентилятора  $\eta_B = 0,85$ , тогда по соответствующим известным безразмерным характеристикам [7, 11] принимаем  $H = 750$  Па . Коэффициент теплопередачи и эффективную площадь теплообмена принимаем по известным зависимостям для секций типа ВС-12 [11]  $F = 84$  Вт/(м<sup>2</sup> · с) и  $\alpha = 55$  м<sup>2</sup>. Таким образом, можно оценить требуемую мощность для охлаждения теплоносителей:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ВЕНТ}} &= 1,005 \cdot 10^3 \cdot 293 \cdot \left( \left( \frac{750 + 101300}{101300} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right) \cdot 0,7 \\
 &\cdot \left( \frac{780000}{(84 \cdot 55 \cdot (106 - 95))} \right) + 1,005 \cdot 10^3 \cdot 293 \\
 &\cdot \left( \left( \frac{750 + 101300}{101300} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right) \cdot 0,7 \cdot \left( \frac{835000}{(84 \cdot 55 \cdot (70 - 65))} \right) \\
 &= 22,39 \text{ кВт}
 \end{aligned}$$

Таким образом, можно оценить среднюю мощность, необходимую на охлаждение теплоносителей:

$$P_w = P_{\text{ВЕНТ}} \cdot \eta_{\text{Пв}}^{-1},$$

где  $\eta_{\text{Пв}}$ -КПД привода вентилятора.

Принимаем  $\eta_{\text{Пв}} = 0,9$  , тогда для 4 вентиляторов охлаждения теплоносителей имеем:

$$P_w = 4 \cdot 22,39 \cdot 0,9^{-1} = 99,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Таким образом, на охлаждение теплоносителей тепловоза 2ТЭ116 необходимо затрачивать 99,5 кВт .

**4) Затраты энергии на обеспечение потребностей состава состоят из затрат на обеспечение работы пневматических тормозов и энергоснабжение пассажирских вагонов.** При вождении специальных составов должны быть учтены затраты энергии на обеспечение воздухом устройств, требуемых для разгрузки. При оценке затрат энергии на пневматическое торможение принимаем, что время работы компрессора с электрическим приводом соответствует 25% от времени работы силовой

установки [10].

Из технических характеристик тепловоза известны мощность компрессора и КПД его привода, тогда можно оценить среднюю мощность, необходимую для на обеспечение работы пневматического тормоза:

$$P_K = 0,25 \cdot P_K / \eta_K,$$

где  $P_K$ -мощность компрессора, Вт;  $\eta_K$ -КПД привода, включая КПД электродвигателя и вспомогательного генератора.

Принимаем для КТ-7 [12]  $P_K = 44,1$  кВт,  $\eta_K = 0,9$ , тогда:

$$P_K = 0,25 \cdot \frac{44,1}{0,9} = 12,25 \text{ кВт}$$

Таким образом, на обеспечение потребностей состава необходимо иметь 12,25 кВт на каждый час работы силовой установки.

### **Заключение**

1) Для одного пуска дизеля тепловоза 2ТЭ116 необходимо затратить 0,087 кг топлива при принятых внешних условиях.

2) Для тепловоза 2ТЭ116 рассчитана средняя мощность, необходимая для привода вспомогательного оборудования локомотива по его техническим характеристикам, составившая 167,7 кВт на каждый час работы силовой установки на выбранном режиме работы.

3) Введение в математическую модель использования регулируемого привода вентиляторов в системе охлаждения тяговых электрических машин и теплоносителей дизеля позволяет уточнить расход топлива на 3 % (например, на 15 ПКМ при принятых нормальных условиях расход топлива снизился с 0,1412 до 0,1372 кг/с).

### **Библиографический список:**

1. К вопросу расчета затрат энергии на привод агрегатов автономного локомотива [Текст] / Е. Е. Коссов, И. А. Кузнецова, А. Ю. Епишин // Вестник ВНИИЖТ. -2011. -N2. - с. 35-38.

2. Тепловоз 2ТЭ116 /С.П. Филонов, А. И. Гибалов, В. Е. Быковский и

др. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1985. 328 с.

3. Памятка машинисту об особенностях эксплуатации и обслуживания, определению и устранению неисправностей тепловоза 2ТЭ116. 66 с.

4. Тепловозные дизели типа Д49/ Е.А. Никитин, В.М. Ширяев, В.Ф. Быков и др.; Под ред. Е.А. Никитина - М.: Транспорт, 1982. 255 с.

5. Тепловоз 2ТЭ116У. Руководство по эксплуатации. Часть 1. Описание и работа. 2ТЭ116.00.00.008-01 РЭ. 148 с.

6. Дизель-генератор 1А-9ДГ исп.3. Руководство по эксплуатации. 1А-9ДГ.62РЭ. 110 с.

7. Теория и конструкция локомотивов: Учебник для вузов ж.-д. транспорта/ Ф.С. Михальченко, В.Н. Кашников, В.С. Коссов, В.А. Симонов; под ред. Ф.С. Михальченко. — М.: Маршрут, 2006. — 584 с.

8. Тепловозы: Механическое оборудование, устройство и ремонт: учебник для технических школ/ А.А.Пойда, Н.М. Хуторянский, В.Е. Кононов. - М.: Транспорт, 1988. -320 с.

9. Данные теплобалансовых испытаниях на режимах тепловозной характеристики дизель-генератора 26-9ДГ№5. 5Д49.193.

10. Иванов В.Н. Конструкция и динамика тепловозов. М.: Транспорт, 1974. - 336 с.

11. Куликов Ю.А. Системы охлаждения силовых установок тепловозов. М.: Машиностроение, 1988. -280 с.

12. [http://allcompressors.ru/page/poltava\\_12.php](http://allcompressors.ru/page/poltava_12.php).

13. ГОСТ 24790-81 Тепловозы промышленные. Общие технические условия.

14. ГОСТ 10150-88 Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Общие технические условия.

15. Основы теплопередачи/ Михеев М.А., Михеева И.М. -Изд. 2-е, стереотип. М., «Энергия», 1977. -344с.