

МЕТОДИКА СИНТЕЗУ АЛГОРИТМУ ФАЗИ-КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Сташевський Є. О., Шеремет О. І., Івченков М. В.

Некоторые технические задачи, которые трудно решаются классическими методами управления, можно легко решить, применив нетрадиционное управление, основанное на фазе-логике. Применение фаззи-управления оказывается целесообразным там, где оно решает поставленные задачи лучше или дешевле, чем традиционные способы управления. При этом фаззи-управление может быть как полностью самостоятельным, так и дополнительным. Для работы с данными в фаззи-логике используется математический аппарат теории нечетких множеств. Фаззи-логика обрабатывает неопределенные данные и ситуации, используя ассоциативные понятия человека – лингвистические термины. Для фаззи-регулятора алгоритм заранее неизвестен и его составление при нескольких входах является непростой, нетривиальной задачей, решаемой итерационным способом с применением вычислительной техники. С увеличением количества фаззи-множеств для входных и выходных переменных качество управления улучшается. В статье предложена методика синтеза фаззи-регуляторов для контура положения нелинейных следящих электроприводов. Эта методика позволяет составить алгоритмы фаззи-регуляторов для коррекции следящих электроприводов в режимах больших возмущающих воздействий и компенсации статической ошибки. Относительно следящих электроприводов, в которых для контура положения используется управляющий компьютер или микроконтроллер, целесообразно применить программную реализацию фаззи-управления. При использовании микроконтроллера для создания фаззи-регулятора программа для него может быть написана на ассемблере или на языке высокого уровня C ++. Слежение за помощью предложенной реализации фаззи-регулятора может осуществляться как в программном режиме, когда траектория движения объекта наблюдения известна, так и в режиме автосопровождения, то есть по сигналу рассогласования между рабочим органом и объектом слежения.

Ключевые слова: фаззи-логика, синтез, нечеткие правила, дефаззификация, регулятор, алгоритм.

Деякі технічні задачі, що важко вирішуються класичними методами управління, можна легко розв'язати, застосувавши нетрадиційне керування, засноване на фазі-логіці. Застосування фазі-керування виявляється доцільним там, де воно вирішує поставлені завдання краще або дешевше, ніж традиційні способи керування. При цьому фазі-керування може бути як повністю самостійним, так і додатковим. Для роботи з даними в фазі-логіці використовується математичний апарат теорії нечітких множин. Фазі-логіка обробляє невизначені дані і ситуації, використовуючи асоціативні поняття людини – лінгвістичні терміни. Для фазі-регулятора алгоритм заздалегідь невідомий і його складання при декількох входах є непростою, нетривіальною задачею, що вирішується ітераційним способом із застосуванням обчислювальної техніки. Зі збільшенням кількості фазі-множин для вхідних і вихідних змінних якість керування поліпшується. Запропонована в статті методика синтезу фазі-регуляторів для контуру положення нелінійних слідкуючих електроприводів. Ця методика дозволяє скласти алгоритми фазі-регуляторів для корекції слідкуючих електроприводів в режимах великих збурюючих впливів і компенсації статичної помилки. Стосовно слідкуючих електроприводів, в яких для контуру положення використовується керуючий комп'ютер або мікроконтролер, доцільно застосувати програмну реалізацію фазі-керування. При використанні мік-

роконтролера для створення фазі-регулятора програма для нього може бути написана на асемблері або на мові високого рівня C++. Стеження за допомогою запропонованої реалізації фазі-регулятора може здійснюватися як в програмному режимі, коли траєкторія руху об'єкта спостереження відома, так і в режимі автосупроводження, тобто за сигналом неузгодженості між робочим органом і об'єктом стеження.

Ключові слова: фазі-логіка, синтез, нечіткі правила, дефазифікація, регулятор, алгоритм.

Some technical problems that are difficult to solve by classical control methods can be easily solved by applying non-traditional control based on fuzzy logic. The use of fuzzy controls is appropriate where it solves the tasks better or cheaper than traditional methods of control. At the same time, fuzzy control can be either completely independent or additional. To work with data in fuzzy logic, a mathematical apparatus of the theory of fuzzy sets is used. Fuzzy logic processes uncertain data and situations using associative notions of a person – linguistic terms. For a fuzzy controller, the algorithm is not known in advance and its addition at multiple inputs is a complicated, non-trivial task that is solved in an iterative way with the use of computing. With the increase in the number of fuzzy sets for input and output variables, the quality of control improves. The method of fuzzy regulators synthesis for the position contour of the nonlinear observing electric drives is proposed in the article. This technique allows compiling algorithms of phase-regulators for correction of the servo drives in the modes of large disturbing influences and compensation of a static error. In the case of monitoring electric drives, which use a control computer or microcontroller for the contour of the position, it is advisable to apply the program implementation of the phase-control. The program for creating fuzzy regulator can be written in assembler or high-level language with C++. Monitoring with the help of the proposed implementation of the fuzzy regulator can be carried out both in the program mode, when the trajectory of the motion of the object of observation is known, and in the mode of auto-guidance, that is, on the signal of inconsistency between the working body and the object of tracking.

Keywords: fuzzy logic, synthesis, fuzzy rules, defuzzification, regulator, algorithm.

Сташевский Е. О.

магистр кафедры ЭСА ДГМА

Шеремет А. И.

д-р техн. наук, зав. каф. ЭСА ДГМА
sheremet-a@mail.ru

Ивченков Н. В.

канд. техн. наук, доц. каф. ЭСА ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 62-523:681.51

Сташевський Є. О., Шеремет О. І., Івченков М. В.

МЕТОДИКА СИНТЕЗУ АЛГОРИТМУ ФАЗИ-КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Нечітка логіка є багатозначною логікою, що дозволяє визначити проміжні значення для таких загальноприйнятих оцінок [1]. Керуванню із застосуванням нечіткої логіки (фаззі-логіки) присвячується сьогодні велика кількість розробок в галузі управління технологічними процесами, в побутовій техніці, електромеханічних системах [2]. Деякі технічні задачі, що важко вирішуються класичними методами управління, можна легко розв'язати, застосувавши нетрадиційне керування, засноване на фазі-логіці.

Застосування фазі-керування виявляється доцільним там, де воно вирішує поставлені завдання краще або дешевше, ніж традиційні способи керування [3]. При цьому фазі-керування може бути як повністю самостійним, так і додатковим. Для роботи з даними в фазі-логіці використовується математичний апарат теорії нечітких множин [4]. Фазі-логіка обробляє невизначені дані і ситуації, використовуючи асоціативні поняття людини – лінгвістичні терміни. Фазі-керування, засноване на «нечітких» правилах, може бути використане для регулювання складних нелінійних процесів в умовах значного змінення параметрів.

Метою роботи є розробка методики складання нечітких правил, що описують алгоритм функціонування фазі-регулятора.

Для традиційних регуляторів алгоритм заздалегідь відомий і визначається математичним описом перетворення вхідного сигналу у вихідний керуючий вплив (пропорційний, пропорційно-інтегральний, пропорційно-диференціальний та інші перетворення). В задачу синтезу таких регуляторів входить лише визначення відповідних коефіцієнтів передач відомими лінійними методами послідовної або паралельної корекції. Для фазі-регулятора (ФР) алгоритм заздалегідь невідомий і його складання при декількох входах є непростою, нетривіальною задачею, що вирішується ітераційним способом із застосуванням обчислювальної техніки. У публікаціях частіше за все питання синтезу фазі-регуляторів не розглядаються достатньо докладно [5, 6], проте можна виділити кілька загальних рекомендацій для синтезу фазі-регулятора.

У більшості випадків фазі-регулятор має дві вхідні і одну вихідну змінну. Мінімальна кількість фазі-множин за кожною змінною – дві. Зі збільшенням кількості фазі-множин для вхідних і вихідних змінних якість керування поліпшується. Практично виявляється достатнім п'ять або сім фазі-множин для кожної змінної. Фазі-множини виражаються функціями належності найбільш простої – трикутної форми. Якщо в процесі регулювання змінна може приймати значення більше і менше від встановленого значення, то фазі-множини повинні розташовуватися симетрично щодо цього значення (при регулюванні щодо відхилення – відносно нуля). Якщо фазі-множини за обома вхідними змінним розташовані симетрично (для фазі-регулятора з двома вхідними змінними), то перелік правил зазвичай симетричний щодо обох діагоналей таблиці правил, тільки множини по різні боки діагоналі мають різні знаки.

Для заповнення таблиці переліку правил можна запропонувати наступну методику. Регулювання відбувається за відхиленням від усталеного значення ($x_{уст}$): $x_1 = x - x_{уст}$ і швидкістю (x_2). В основу алгоритму покладено принцип стійкості [7]: якщо знак $\Delta x = x - x_{уст}$ і знаки $\Delta \dot{x}$ збігаються, то потрібен великий керуючий вплив u_y з протилежним знаком, якщо знак $\Delta \dot{x}$ протилежний знаку Δx , то при достатньому $|\Delta \dot{x}|$ $u_y = 0$. Діапазони зміни вхідних змінних розбитий на п'ять множин, вихідних — на сім. Спочатку заповнюється

стовпчик і рядок, що відповідають положенню рівноваги за вхідними змінним (для випадку симетричного розташування множин відносно нуля (рис. 1) – стовпчик і рядок по «нульовим» множинам (ZE)).

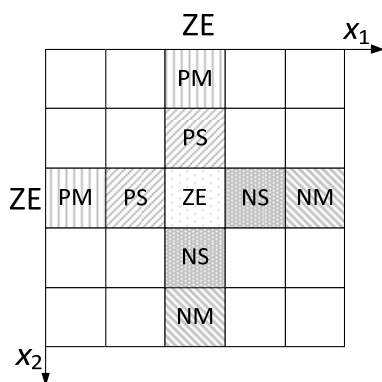


Рис. 1. Симетричне розташування множин відносно нуля

Таким чином виходять певні «координатні осі», що розбивають таблицю правил на чотири квадранта. При заповненні інших клітин фазі-множини по «осях» складаються. При додаванні деяких фазі-множин може спостерігатися «насичення», тоді в клітинку записується відповідна за знаком найбільша множина. Далі в перелік правил можна внести нелінійність, змінивши, наприклад, правила по діагоналі, де раніше були отримані нульові множини (рис. 2). Можливі й інші варіанти зміни таблиці правил, що залежать від реалізованого алгоритму. Однак не рекомендується різка зміна правил при переході від однієї клітинки до іншої по вертикалі або горизонталі. Якщо будь-якого поєднання змінних не очікується, клітинку можна залишити порожньою (рис. 2) – верхня клітинка зліва та нижня клітинка знизу.

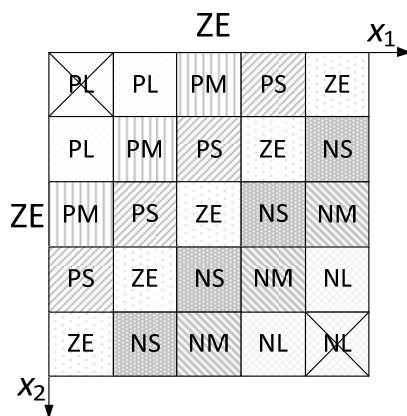


Рис. 2. Симетричне розташування множин відносно нуля з внесенням нелінійності

Дефазифікацію можна виконувати за формулою зваженого усереднення:

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^4 \mu_i \cdot U_i}{\sum_{i=1}^4 \mu_i}, \quad (1)$$

де U_i – центр ваги i -ї задіяної вихідної множини;

μ_i – ступінь приналежності до цієї множини.

Хоча деякі загальні рекомендації по складанню алгоритмів фази-правил відомі, проте стосовно до конкретного класу об'єктів керування з певними завданнями управління потрібна деталізація і доопрацювання рекомендацій у вигляді методики синтезу.

Для слідкуючих електроприводів з фази-регулятором у контурі положення можна запропонувати алгоритм синтезу, представлений у вигляді блок-схеми, показаної на рис. 3.

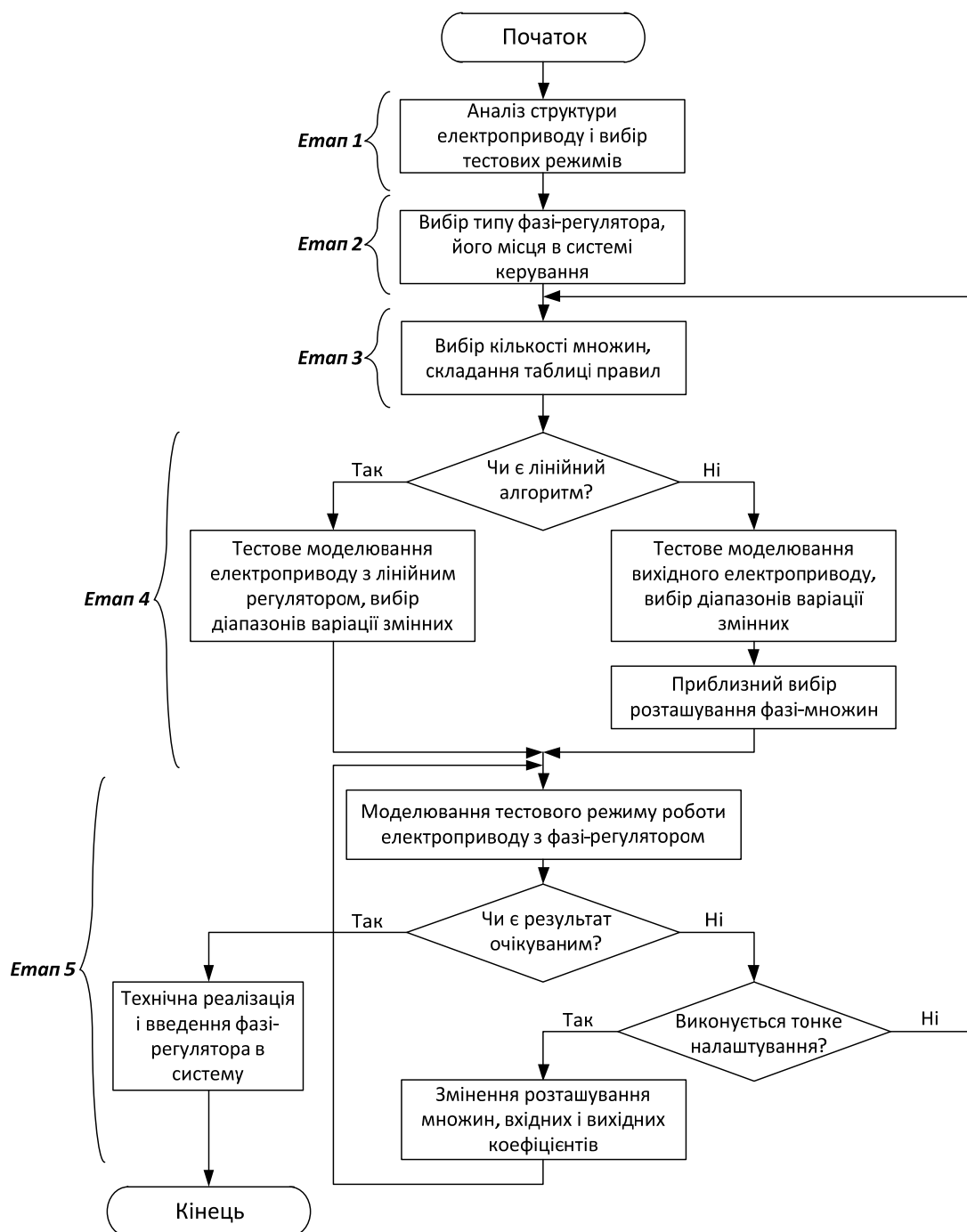


Рис. 3. Блок-схема алгоритма синтезу фази-регуляторів

На першому етапі (рис. 3) аналізується структура системи керування електроприводом, визначаються режими його роботи. Слідкуючі електроприводи мають низку нелінійностей: насичення регуляторів і перетворювача напруги, кінематичні люфти, тертя. Внутрішні контури струму і швидкості налаштовані на модульний оптимум. У контурі положення –

пропорційно-інтегральний регулятор. Близьке до одиниці співвідношення мас робочого органу і двигуна ($\gamma = \frac{J_{\text{де}} + J_{\text{ро}}}{J_{\text{де}}}$) призводить до слабого демпфування коливань робочого органу двигуном.

Для перевірки ефективності синтезованого фазі-регулятора виділяється тестовий режим. Найбільш важкими режимами для даного класу електроприводів є режими відпрацювання стрибка завдання положення (режим позиціонування) або відпрацювання збурюючого впливу активного моменту вітрового навантаження. У цих режимах найповніше виявляються нелінійності структури електроприводу.

Необхідно також проаналізувати можливі методи підвищення якості регулювання. Відомі методи корекції, які забезпечують стабілізацію руху подібних систем. Один з методів – еквівалентне збільшення коефіцієнта демпфірування механічної ланки ξ . Ідея методу полягає в тому, що відшукується паралельна корекція для швидкісної підсистеми слідкуючого електроприводу, така, яка еквівалентна підвищенню в'язкого тертя (параметр T_p) механічної ланки для лінійної структури підлеглого регулювання в припущенні, що співвідношення мас $\gamma = 1$.

На другому етапі вибирається спосіб стабілізації коректованих режимів і на його підставі – тип фазі-регулятора, його місце в структурі слідкуючого електроприводу, вхідні і вихідні змінні (x_1, x_2, u).

Для коригуючого фазі-регулятора (ФР1 на рис. 4, ключ К1 замкнутий) вхідними змінними (x_1 та x_2) будуть відповідно друга та третя похідні кута положення. Компенсуючий фазі-регулятор (ФР2 на рис. 4, ключ К2 замкнутий) застосовується для компенсації статичної помилки, викликаній значним моментом тертя в слідкуючих електроприводах з пропорційним регулятором положення, а також в слідкуючі електроприводи з пропорційно-інтегральним регулятором положення, де сухе тертя і зазор кінематичного ланцюга викликають затягування перехідного процесу при підході до сталого значення. При підході до заданого значення положення швидкість зменшується.

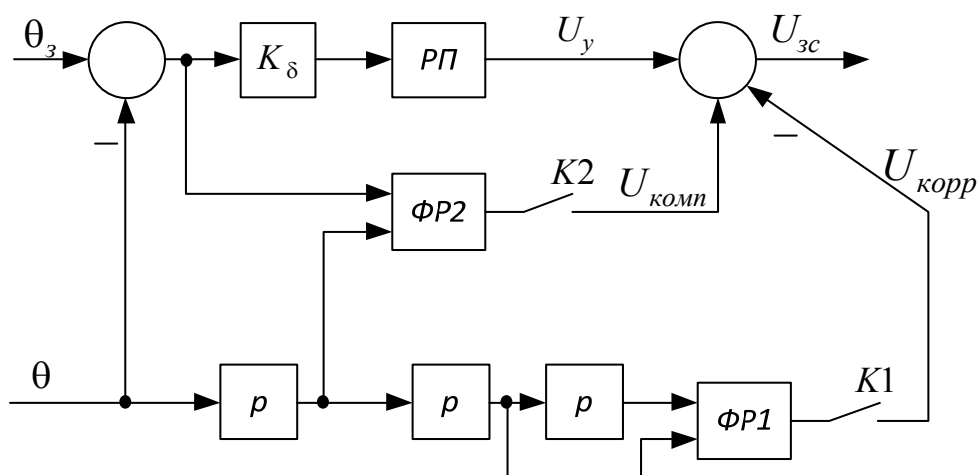


Рис. 4. Фазі-регулятори, що доповнюють регулятор положення

В основу компенсуючого ФР покладено наступний алгоритм: при підході до сталого значення, коли помилка δ ще велика, а швидкість $\frac{d\theta}{dt}$ вже мала, необхідно подати додатковий керуючий вплив. Причому, поза певної зони помилки і при великих швидкостях, додатковий вплив не потрібен.

На третьому етапі для кожної змінної вибирається кількість фазі-множин, їх форма, складається перелік правил. Для коригуючого фазі-регулятора (ФР1) пропонується трикутна форма фазі-множин, по п'ять множин для входних змінних і сім – для вихідної (рис. 5). Позитивні і негативні множини розташовані симетрично відносно нуля.

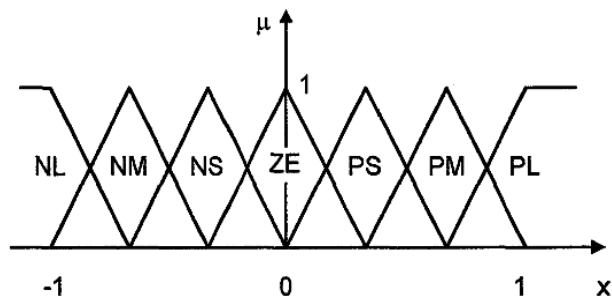


Рис. 5. Сім фазі-множин для змінної x

На четвертому етапі задається початкове положення фазі-множин, а на п'ятому – здійснюється налаштування фазі-регулятора. Робота фазі-регулятора з отриманими параметрами перевіряється за допомогою моделювання тестового режиму роботи електроприводу. Наприкінці здійснюється оцінка отриманого результату.

ВИСНОВКИ

Стосовно слідкуючих електроприводів, в яких для контуру положення використовуються керуючий комп'ютер або мікроконтролер, доцільно застосувати програмну реалізацію фазі-керування. При використанні мікроконтролера для створення фазі-регулятора програма для нього може бути написана на асемблері або на мові високого рівня C++.

Стеження за допомогою запропонованої реалізації фазі-регулятора може здійснюватися як в програмному режимі, коли траєкторія руху об'єкта спостереження відома, так і в режимі автосупроводження, тобто за сигналом неузгодженості між робочим органом і об'єктом стеження.

Відомі загальні рекомендації побудови алгоритмів фазі-регулятора недостатні для конкретних об'єктів управління з урахуванням їх особливостей і цілей управління. Розроблена методика синтезу фазі-регуляторів для контуру положення нелінійних слідкуючих електроприводів. Ця методика дозволяє скласти алгоритми фазі-регуляторів для корекції слідкуючих електроприводів в режимах великих збурюючих впливів і компенсації статичної помилки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Калашніков В. І. Основи теорії фазі-логіки та фазі-регулювання : навч. посіб. / В. І. Калашніков, Ф. Паліс, О. Ю. Лозинський. – Донецьк ; Магдебург ; Львів, 2000. – 69 с.
2. Жирабок А. Н. Нечеткие множества и их использование для принятия решений / А. Н. Жирабок // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – № 2. – С. 109–114.
3. Ярушкіна Н. Г. Основы теории нечетких и гибридных систем: учебное пособие / Н. Г. Ярушкіна. – М. : Финансы и статистика, 2004. – 320 с.
4. Kosc P. Adaptive fuzzy logic control for DC motors speed-loop / P. Kosc, F. Profumo // Conf. Rec. Electric drive and Power Electronic–Kosice, 1992 – P. 289–296.
5. Терехов В. М. Непрерывные и цифровые системы управления скоростью и положением электроприводов : учеб. пособие по курсу «Системы упр. электроприводов» / В. М. Терехов. – М. : МЭИ, 1996. – 99 с.
6. Терехов В. М. Стабилизация движения тихоходных электроприводов на основе Fuzzy-логики / В. М. Терехов, А. С. Барышников // Электричество, 1996. – №8. – С. 61–64.
7. Бесекерский В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – Изд. 4-е, перер. и доп. – СПб. : Профессия, 2003. – 752 с.