

**Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Физико-технический факультет
Кафедра оптоэлектроники**

Методическое пособие к лабораторной работе

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ

Краснодар 2017

Цель работы: ознакомиться со схемами и принципами действия электрических фильтров. Собрать схемы, выполнить измерения и построить амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики различных фильтров.

1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Фильтр в электротехнике — устройство для выделения желательных компонентов спектра электрического сигнала и/или подавления нежелательных.

Фильтры, находящие применение в обработке сигналов, бывают:

- аналоговыми и цифровыми;
- пассивными или активными;
- линейными и нелинейными.

Среди множества фильтров отдельно выделяют следующие фильтры (по виду передаточной функции):

- фильтры Чебышёва;
- фильтры Бесселя;
- фильтры Баттерворта.

По порядку (степени уравнения) передаточной функции (АФЧХ) различают фильтры первого, второго и более высоких порядков. Крутизна ЛАЧХ фильтра 1-го порядка в полосе подавления равна 20 дБ на декаду, фильтра 2-го порядка — 40 дБ на декаду, и т. д.

По тому, какие частоты фильтром пропускаются (задерживаются), фильтры подразделяются на

- фильтры нижних частот (ФНЧ);
- фильтры верхних частот (ФВЧ);
- полосно-пропускающие фильтры (ППФ);
- полосно-задерживающие (режекторные) фильтры (ПЗФ).

В математике доказывается, что периодическую функцию, удовлетворяющую определенным требованиям, можно представить рядом Фурье. Преобразование Фурье — операция, сопоставляющая одной функции вещественной переменной другую функцию вещественной переменной. Эта новая функция описывает коэффициенты («амплитуды») при разложении исходной функции на элементарные составляющие — гармонические колебания с разными частотами (подобно тому, как музыкальный аккорд может быть выражен в виде амплитуд нот, которые его составляют).

В цепи периодического несинусоидального тока для различных гармонических составляющих этого тока индуктивные сопротивления катушек $k\omega L$ и емкостные сопротивления конденсаторов $1/(k\omega C)$ зависят от номера k гармонической составляющей.

На зависимости индуктивных и емкостных сопротивлений от частоты основан принцип работы электрических фильтров — устройств, с помощью которых

гармонические составляющие токов и напряжений определенной частоты или в пределах определенной полосы частот значительно уменьшаются.

Сглаживающие фильтры.

Сглаживающие фильтры служат для уменьшения процентного содержания на сопротивлении нагрузки гармонических составляющих выпрямленного напряжения или снижения процентного содержания высших гармоник в кривой переменного напряжения.

Рассмотрим работу простейшего сглаживающего фильтра (рис. 1), представляющего собой пассивный линейный четырехполюсник, к выходным выводам которого подключен приемник с сопротивлением нагрузки $R_{2н}$.

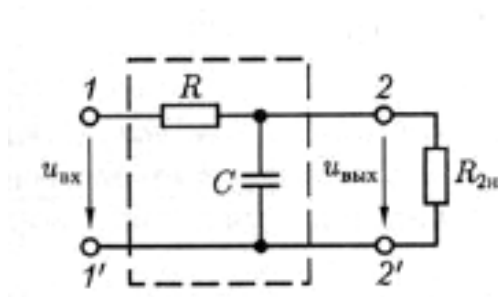


Рис. 1. Простейший сглаживающий RC фильтр

Коэффициент передачи напряжения фильтра, цепь которого вместе с приемником представляет собой цепь со смешанным соединением ветвей, равен

$$K_u = \frac{1}{1 + R/R_{2н} + j\omega RC} \quad (1).$$

Соответствующая амплитудно-частотная характеристика фильтра

$$K_u(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(\omega RC)^2 + (1 + R/R_{2н})^2}} \quad (2).$$

Амплитудно-частотная характеристика фильтра приведена на рис. 2.

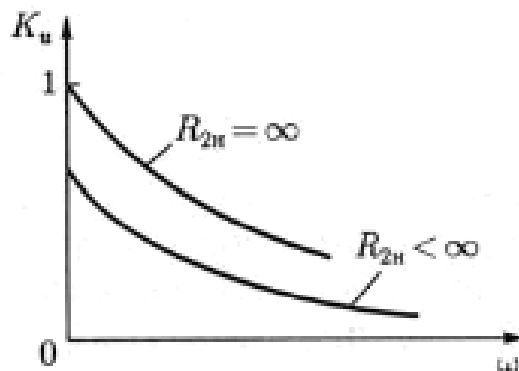


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика простейшего сглаживающего фильтра

Чем выше частота гармоники напряжения на входе фильтра, тем меньше ее процентное содержание в напряжении на его выходе (рис. 3).

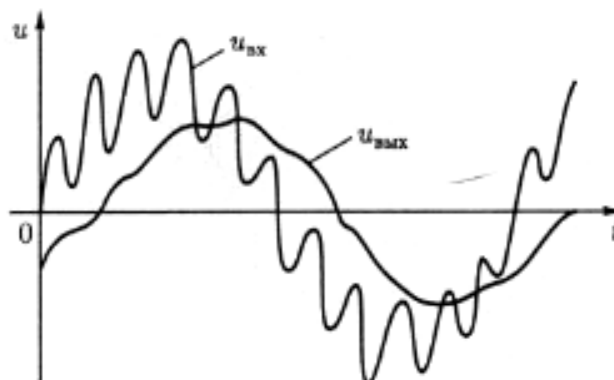


Рис. 3. Подавление высших гармоник сглаживающим фильтром

Аналогичными свойствами обладает сглаживающий фильтр по схеме на рис. 4.

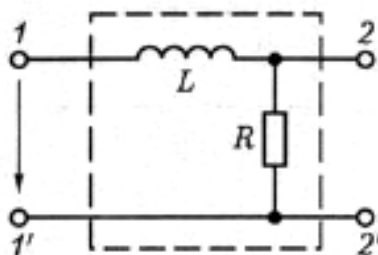
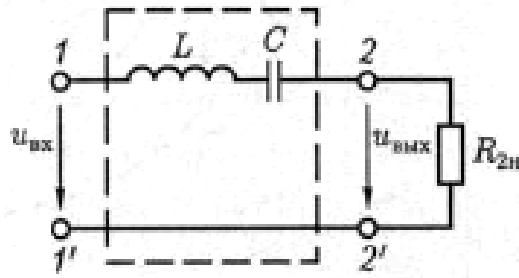


Рис. 4. Простейший сглаживающий LR фильтр

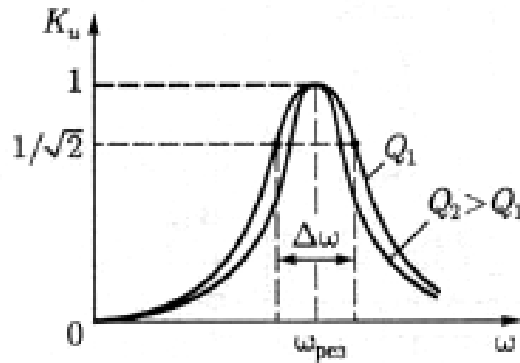
Резонансные фильтры.

В резонансных фильтрах используются явления резонансов напряжений и токов в электрических цепях для выделения или исключения в кривой напряжения на приемнике определенной полосы частот. Соответствующие фильтры называются полосовыми и заградительными. На рис. 5а приведена схема простейшего полосового фильтра на основе явления резонанса напряжений, а на рис. 5б — его амплитудно-частотная характеристика, найденная по формуле:

$$K_u(\omega) = \frac{R_{2н}}{\sqrt{[\omega L - 1/\omega C]^2 + R_{2н}^2}}. \quad (3).$$



а)



б)

Рис. 5. Схема (а) и амплитудно-частотная характеристика (б) простейшего полосового фильтра на основе явления резонанса напряжений.

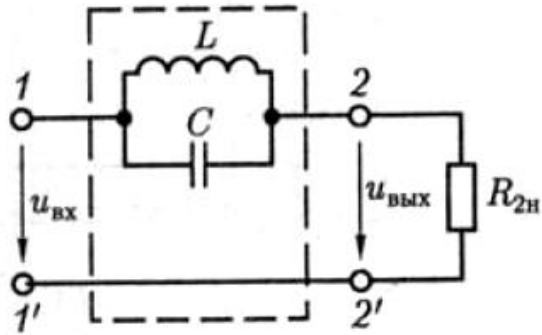
Ширина полосы частот $\Delta\omega$, выделяемая фильтром, на уровне $K_u = 1/\sqrt{2}$

тем меньше, чем больше добротность цепи $Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R_{2н}}$.

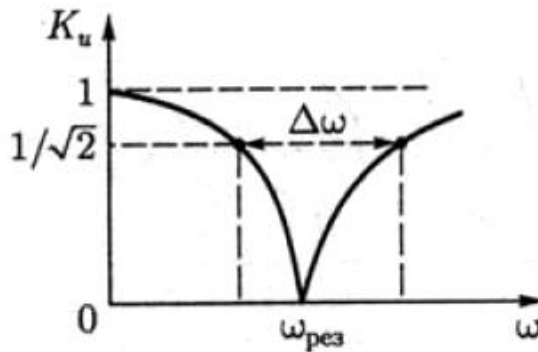
В заградительном фильтре по схеме на рис. 6а используется явление резонанса токов. Его амплитудно-частотная характеристика приведена на рис. 6б и рассчитана по формуле:

$$K_u(\omega) = \frac{R_{2н} |1 - \omega^2 LC|}{\sqrt{(\omega L)^2 + R_{2н}^2 (1 - \omega^2 LC)^2}} \quad (4).$$

Ширина полосы частот $\Delta\omega$, заграждаемых фильтром, определяется на уровне $K_u = 1/\sqrt{2}$. Комбинации явлений резонансов напряжений и токов в различных ветвях фильтра позволяют создавать полосовые и заградительные фильтры высокого качества.



а)



б)

Рис. 6. Заградительный фильтр на явлении резонанса токов (а) и его амплитудно-частотная характеристика (б).

Избирательные RC-фильтры.

Фильтры, содержащие только резисторы и конденсаторы, называются RC-фильтрами. Отсутствие в них индуктивных элементов делает их привлекательными для реализации в виде интегральных микросхем. Примером полосового RC-фильтра может служить четырехполюсник (рис. 7а), называемый мостом Вина, с коэффициентом передачи напряжения при разомкнутой цепи нагрузки:

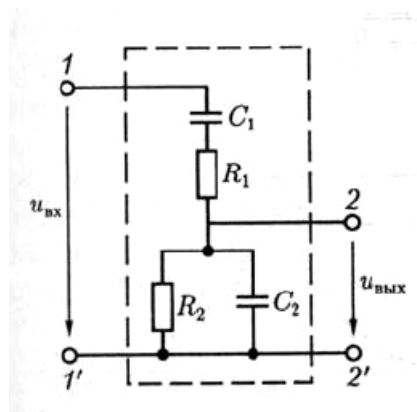
$$\dot{K}_u = Z_2 / (Z_1 + Z_2) \quad (5),$$

где $Z_1 = -j / (\omega C_1) + R_1$ и

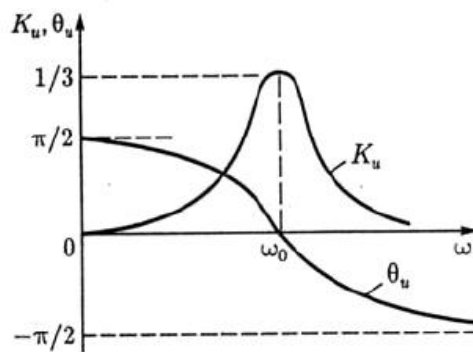
$Z_2 = 1 / (1/R_2 + j\omega C_2)$ - комплексные сопротивления.

Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики моста Вина приведены на рис. 7б. Максимальное значение амплитудно-частотной характеристики равно 1/3 и достигается при угловой частоте

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}. \quad (6).$$



а)



б)

Рис. 7. Схема моста Вина (а) и его амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики

При этом фазочастотная характеристика при $\omega = \omega_0$ пересекает ось абсцисс, т.е. $\Theta = 0$.

Заградительный RC-фильтр можно реализовать с помощью двойного Т-образного моста (рис. 8).

При разомкнутой цепи нагрузки минимуму его амплитудно-частотной характеристики соответствует угловая частота $\omega_0 = 1/(RC)$. Доказательство этого условия достаточно трудоемкое и здесь не приводится.

Возможны и другие схемотехнические решения избирательных RC-фильтров.

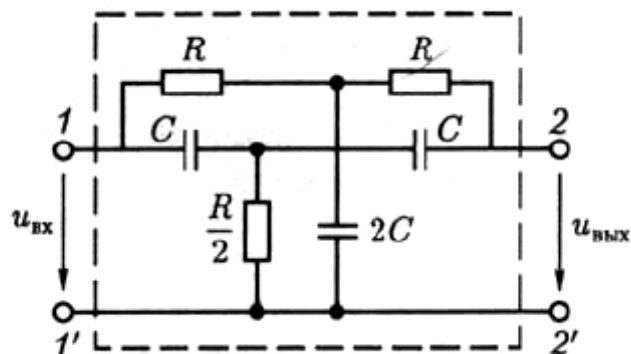


Рис. 8. Заградительный RC-фильтр на базе двойного Т-образного моста

2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Регистрация амплитудно-частотной и фазочастотной характеристики резонансного полосового фильтра.

Соберите схему для изучения амплитудно-частотной и фазочастотной характеристики резонансного полосового фильтра (рис.9).

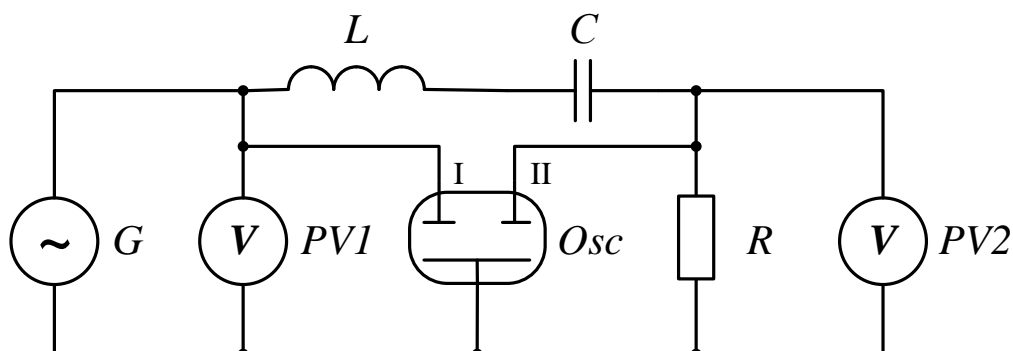


Рис. 9. Схема для изучения с амплитудно-частотной и фазочастотной характеристики резонансного полосового фильтра. $L = 10$ мГн, $C = 15$ нФ, $R_H = 2$ кОм.

Задавайте частоту генератора 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 15; 20; 50; 100; 150 кГц. Задавайте напряжение генератора U_g примерно равным (несколько менее) 2В.

В соответствии с табл. 1, регистрируйте:

- соответствующие частоте значения входного напряжения U_1 с генератора U_g с помощью вольтметра PV1;

- значения выходного напряжения U_2 с помощью вольтметра PV2;

- период T и задержку Δt фазы по осциллографу в клетках и в единицах времени.

Если фаза выходного напряжения опережает фазу входного, регистрируйте её со знаком «плюс», в противном случае - со знаком «минус».

Таблица 1

f_g , кГц	0,05	0,1	0,2	...
$\lg(f_g / f_0)$				
U_1 , В				
U_2 , В				
K_u				
T , клеток (ед. времени)				
Δt , клеток (ед. времени)				
$\Delta\varphi$, ° (рад)				

Определите практически значение циклической частоты f_0 , соответствующее значению частоты настройки фильтра ω_0 . Рассчитайте для каждой заданной частоты генератора значение отношения $\lg(f_g / f_0)$.

Рассчитайте по таблице 1 значения модуля коэффициента передачи напряжения K_u и его аргумент $\Delta\varphi$. По результатам расчетов постройте практические амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики избирательного фильтра. Ось абсцисс графиков выполните логарифмической, укажите на оси одновременно значения f_g (кГц) и $\lg(f_g / f_0)$. Определите ширину полосы частот $\Delta\omega$, выделяемой фильтром.

Рассчитайте по формуле 3 теоретические значения модуля коэффициента передачи напряжения K_u . По результатам расчетов постройте теоретическую амплитудно-частотную характеристику резонансного полосового фильтра.

2.2. Регистрация амплитудно-частотной и фазочастотной характеристики резонансного заградительного фильтра.

Соберите схему для изучения амплитудно-частотной и фазочастотной характеристики резонансного заградительного фильтра (рис.10).

Постройте амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики резонансного заградительного фильтра по методике п. 2.1. Рассчитайте по формуле 4 теоретические значения модуля коэффициента передачи напряжения K_u . По результатам расчетов постройте теоретическую амплитудно-частотную характеристику резонансного полосового фильтра.

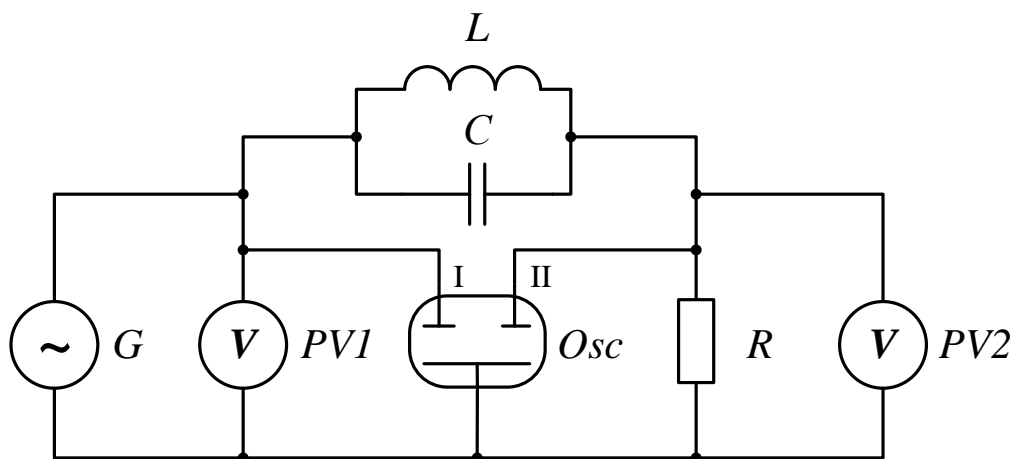


Рис. 10. Схема для изучения с амплитудно-частотной и фазочастотной характеристики резонансного полосового фильтра. $L = 10$ мГн, $C = 15$ нФ, $R_n = 2$ кОм.

2.3. Регистрация амплитудно-частотной и фазочастотной характеристики избирательного RC-фильтра.

Соберите схему для изучения амплитудно-частотной и фазочастотной характеристики избирательного фильтра (рис. 11).

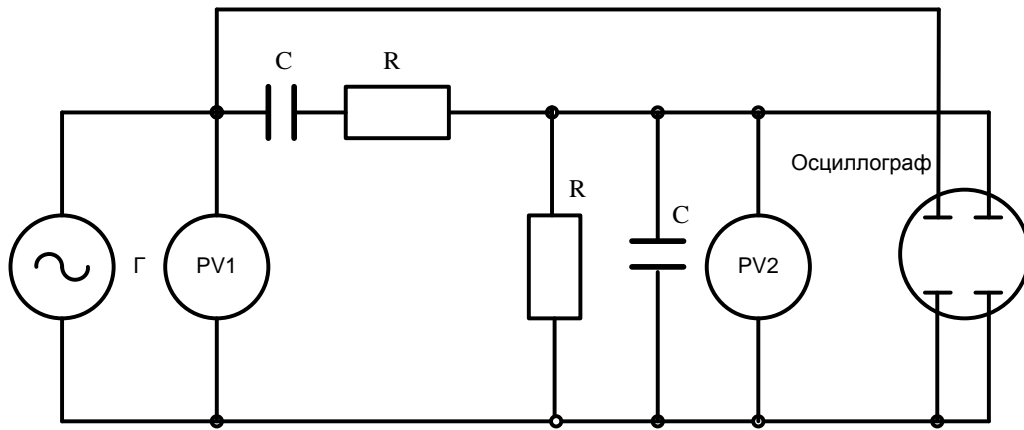


Рис. 11. Схема для изучения с амплитудно-частотной и фазочастотной характеристики избирательного фильтра. $R = 2 \text{ кОм}$, $C = 15 \text{ нФ}$.

Постройте амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики избирательного фильтра по методике п. 2.1.

2.4. Регистрация амплитудно-частотной и фазочастотной характеристики заградительного RC-фильтра.

Соберите схему для изучения амплитудно-частотной и фазочастотной характеристики заградительного фильтра (рис. 13).

Постройте амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики избирательного фильтра по методике п. 2.1.

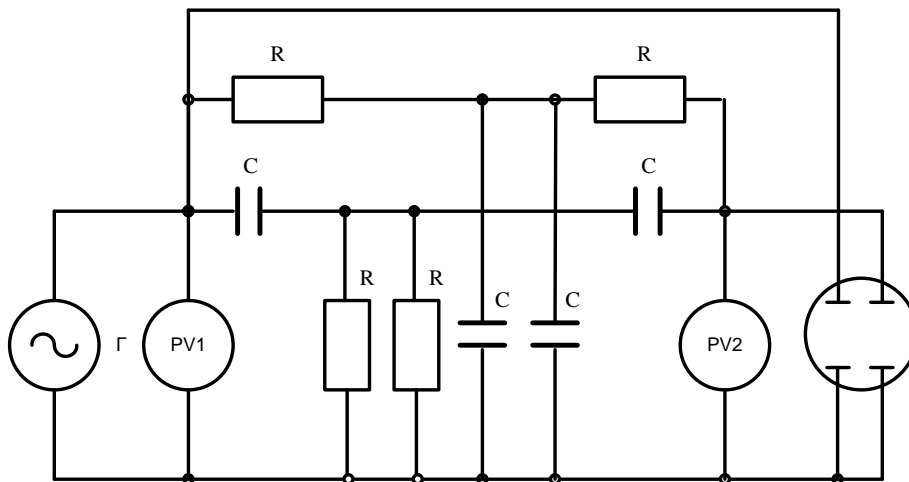


Рис.12. Схема для изучения с амплитудно-частотной и фазочастотной характеристики заградительного фильтра. $R = 2 \text{ кОм}$, $C = 15 \text{ нФ}$.

Контрольные вопросы

- 1) Что такое электрический фильтр?
- 2) Что такое комплексный коэффициент передачи фильтра? Почему он комплексный?
- 3) Нарисуйте схему простейшего фильтра нижних частот.
- 4) Как определить частоту среза фильтра?
- 5) Нарисуйте АЧХ фильтра НЧ.
- 6) Нарисуйте схему простейшего фильтра верхних частот.
- 7) Как определить частоту среза фильтра?
- 8) Нарисуйте АЧХ фильтра ВЧ.
- 9) Приведите формулы для определения частоты среза фильтров НЧ и ВЧ.
- 10) Нарисуйте схему простейшего полосового фильтра.
- 11) Как определить частоту среза полосового фильтра?
- 12) Нарисуйте АЧХ полосового фильтра. Чему равен коэффициент передачи полосового фильтра на частоте f_0 ?
- 13) Приведите формулы для определения центральной частоты полосового фильтра.
- 14) Как выражается амплитудно-частотная характеристика в логарифмическом масштабе?
- 15) Нарисуйте ЛАЧХ фильтров НЧ, ВЧ и полосового фильтра.
- 16) Как определить частоту среза фильтров по АЧХ в логарифмическом масштабе?

Литература

1. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. Москва.: Академия. 2015.
2. Попов В.П. Основы теории цепей. М.: Высшая школа. 2015.