

Разработка алгоритма идентификации параметров моделей объектов на примере системы управления температурой

А.С. Свитек

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Аннотация: В статье рассмотрены основные этапы идентификации системы управления поддержания заданной температуры, в составе которой имеется исполнительный механизм, объект управления и датчик температуры. Исходными данными послужили экспериментальные значения, полученные при различных задающих воздействиях на объекты материального мира. Для подтверждения верности производимых расчётов и выбранных методик идентификации параметров представлено математическое моделирование системы в пакете Matlab/Simulink. В конце статьи даны количественная и качественная оценки полученным математическим моделям.

Ключевые слова: идентификация, математическая модель, объект управления, система управления, переходная характеристика, натурный эксперимент, передаточная функция.

Введение

При синтезе автоматических регуляторов необходимо знать математическое описание объекта и вспомогательных частей, входящих в систему управления [1]. На практике не всегда возможно произвести процедуру идентификации модели по паспортным данным изделия. Кроме того, в процессе эксплуатации объекты материального мира могут изменять свои свойства, что приводит к потере качества регулирования и ухудшению переходных процессов [2-3]. Поэтому процедура идентификации параметров является актуальной задачей многих отраслей промышленности, связанных с автоматизацией технологических процессов.

Многие процессы описываются известными дифференциальными уравнениями, однако в таком случае не учитывается ряд особенностей, связанных с конкретным исполнением и вводом в эксплуатацию устройства [4]. Во многих случаях ключевую роль имеют специфические свойства, которые не учитываются типовыми дифференциальными уравнениями [5], поэтому важно разработать алгоритм, принимающий во внимание все факторы влияния на динамические характеристики объекта.

Разработка алгоритма идентификации параметров объекта

Для достижения требуемой точности математической модели объекта по отношению к её реальному состоянию наилучшим методом извлечения данных является проведение натурального эксперимента [6]. Однако, в реальных производственных или полевых условиях, не всегда возможно воссоздать необходимые условия для проведения эксперимента, поэтому алгоритм идентификации должен учитывать вносимые поправки. В зависимости от типа и природы объекта, на него могут быть оказаны ограниченные виды воздействий, что тоже должно учитываться алгоритмом.

Получение передаточной функции – математической модели объекта возможно по переходной характеристике, которую можно определить экспериментальным путём. При этом следует учесть наличие начальных не нулевых условий, путём их вычитания из выходной координаты в установившемся состоянии, при определении передаточного коэффициента. В зависимости от природного типа объекта, необходимо аппроксимировать по соответствующему виду начальный отрезок для получения точного времени переходного процесса. По окончательному виду переходной характеристики необходимо сформировать знание о структуре передаточной функции и по числовым значениям графической интерпретации определить её параметры. Ключевым критерием верности производимых расчётов станет моделирование модели системы в пакете Matlab/Simulink [7]. Точность идентификации определим по средней квадратической погрешности – формуле Гаусса.

Идентификация параметров на примере системы управления температурой

Произведём идентификацию параметров системы управления поддержания заданной температуры, структурная схема которой представлена на рис. 1.

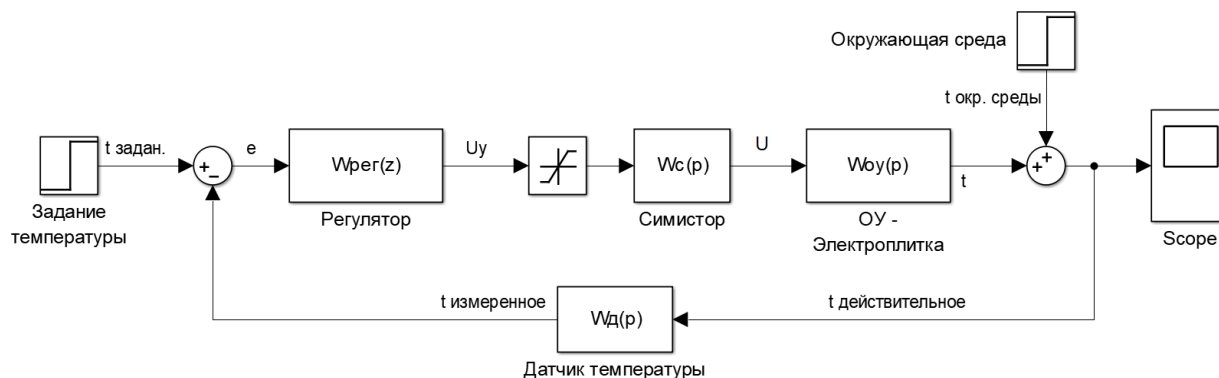


Рис. 1. – Структурная схема замкнутой системы автоматического управления

Объектом управления выступает электроплитка ECON ECO-132HP, мощностью 1000 Вт и напряжением питания 220 Вольт. Для измерения значений будем использовать цифровой датчик температуры DS18B20. В качестве исполнительного устройства выступит симистор ВТА12-600. Функции регулятора выполняет микропроцессор Atmega2560.

Определение передаточной функции датчика

Сначала необходимо определить математическую модель обратной связи, поскольку при расчёте передаточной функции объекта нужно учитывать вносимое датчиком искажение. Это происходит вследствие того, что переходная характеристика объекта, полученная экспериментальным путём, сочетает в себе выходной сигнал после объекта управления и датчика. При этом получить выходной сигнал сразу после объекта, опытным путём, без измерительного устройства не представляется возможным.

Чтобы определить численные параметры модели датчика, поставим эксперимент, в котором будем измерять температуру кипящей воды, резко опустив водонепроницаемый датчик температуры в жидкость. Экспериментальный график зависимости температуры от времени представлен на рис. 4. В таком случае датчик одновременно станет объектом и измерительным устройством, что позволит идентифицировать его

параметры, как объекта, пренебрегая скоростью передачи данных, но учитывая инерционную составляющую задержки времени измерения.

По графику видно, что процесс имеет аperiodический характер изменения, поэтому его можно представить в виде аperiodического звена [1] с передаточной функцией, представленной ниже:

$$W_D(p) = \frac{k_D}{T_D p + 1} \quad (1)$$

Передаточный коэффициент k_D формуле (1) будет равен единице, поскольку на выходе датчика имеем действительное значение с задержкой, которую определяет постоянная времени T_D .

В ходе эксперимента значения температуры не достигли 100 °С по причине низкого давления в той местности, где производился съём данных. Также на это могли повлиять такие факторы, как высокий уровень над морем и неизвестные вещества в кипящей воде [8]. Установившееся значение температуры равно 98,9 °С. Для определения постоянной времени воспользуемся правилом из теории автоматического управления. Найдём температуру, достигнутую при 63 % от установившегося значения $t_{63\%} = 98,9 \text{ °С} \cdot 63\% = 62,307 \text{ °С}$.

Так как при проведении эксперимента начальные условия были не нулевые, то есть исходная температура не равнялась нулю, а нам необходимо определить время, при котором температура первый раз достигла 62,307 °С от нулевого значения, то аппроксимируем экспериментальный график степенной функцией $y = 17,345 \cdot x^{0,7339}$, наиболее точно описывающей начальный отрезок переходной характеристики [9]. Именно степенная функция по виду наиболее близка на данном отрезке к аperiodической. Коэффициент достоверности аппроксимации равняется $R^2 = 0,999$, что является незначительным отклонением и отлично подойдёт для

практического применения. Действительное время на достижение $62,307\text{ }^{\circ}\text{C}$, с учётом рис. 2, равняется $t_{\text{уст.истинное}} = 4 + 2 = 6\text{ с}$.

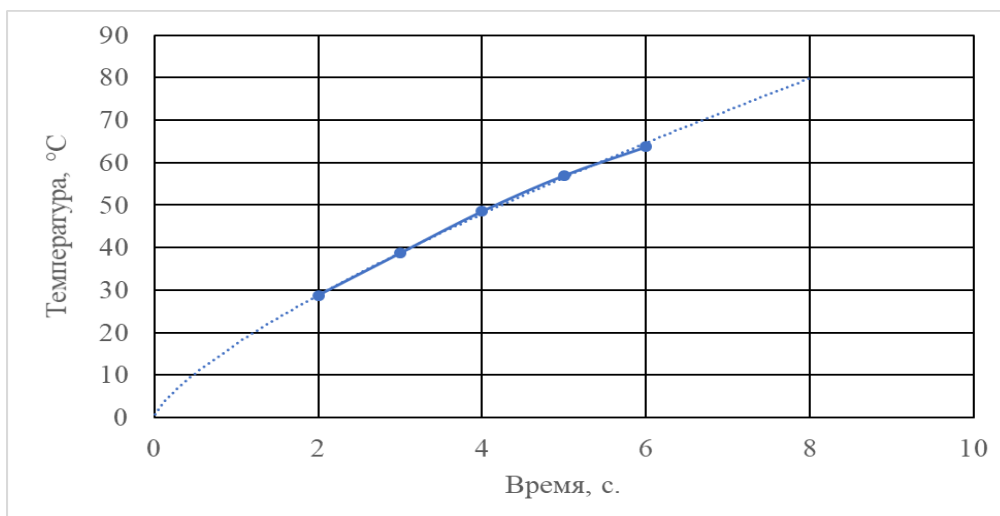


Рис. 2. – Экспериментальная переходная характеристика датчика, аппроксимированная степенной функцией

Время, при котором температура первый раз достигла значения $62,307\text{ }^{\circ}\text{C}$, составляет 6 секунд, тогда имеем $T_d = 6$. Передаточная функция датчика температуры примет следующий вид: $W_d(p) = \frac{1}{6p+1}$.

Для верности идентификации параметров промоделируем датчик температуры в среде Matlab/Simulink [10] по схеме, представленной на рис. 3.

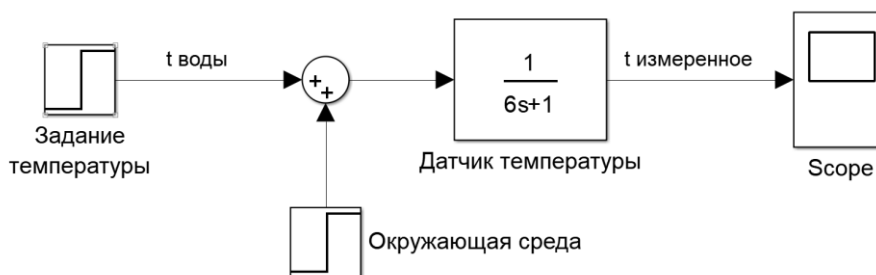


Рис. 3. – Структурная схема моделирования датчика температуры

Компьютерное моделирование должно в точности соответствовать натурному эксперименту, поэтому сначала необходимо осуществлять возмущение только окружающей средой до тех пор, пока установившееся значение не станет равным температуре задания. Только после этого можно

начинать подавать температуру задания. Моделирование в среде Matlab/Simulink представлено на рис. 4.

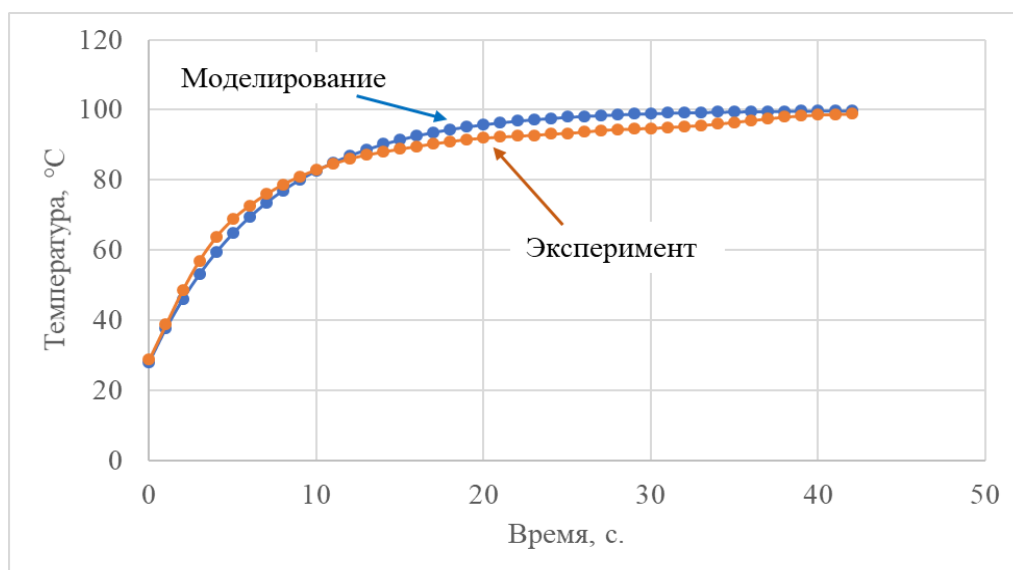


Рис. 4. – Графики переходных процессов датчика температуры при моделировании и эксперименте

Определение передаточной функции объекта управления

Для определения передаточной функции электроплитки, проведём физический эксперимент по её нагреву при 30 вольт переменного напряжения, преобразованного из 220 вольт посредством симистора. Рассмотрим полученный график зависимости температуры от времени, представленный на рис. 7. Значение установившейся температуры составляет 127,94 градусов по Цельсия. По графику видно, что процесс имеет аperiodический характер изменения, поэтому его можно представить в виде аperiodического звена с передаточной функцией (2) следующего вида:

$$W_{Oy}(p) = \frac{k_{Oy}}{T_{Oy}p + 1} \quad (2)$$

Для определения коэффициента усиления в установившемся состоянии, воспользуемся соотношением вида $k = \frac{y_{уст}}{x}$, где $y_{уст}$ — установившееся значение выходной координаты при начальных условиях, x — значение

входной координаты. Входным воздействием является напряжение питания, равное в эксперименте 30 Вольт. Так как эксперимент проходил во внешней среде, где значение температуры составляло 25,62 °С, то эту величину следует вычесть из установившегося значения, тогда получим

$$k_{oy} = k = \frac{y_{уст}}{x} = \frac{127,94 - 25,62}{30} = 3,41.$$

Для определения постоянной времени воспользуемся правилом из теории автоматического управления. Найдём температуру, достигнутую при 95 % от установившегося значения $t_{95\%} = 127,94 \text{ °С} \cdot 95\% = 121,543 \text{ °С}$. Так как при проведении эксперимента начальные условия были не нулевые, то есть исходная температура не равнялась нулю, а нам необходимо определить время, при котором температура первый раз достигла 121,543 °С от нулевого значения, то аппроксимируем экспериментальный график, определив, что степенная функция наиболее близка к реальным значениям в данном диапазоне $y = 2,2938 \cdot x^{0,5119}$. Коэффициент достоверности аппроксимации равняется $R^2 = 0,9829$, что является незначительным отклонением и отлично подойдёт для практического применения в данном случае. Время на достижение 121,543 °С, с учётом рис. 5, равняется $t_{95\%} = 1392 + 98 = 1490 \text{ с}$.

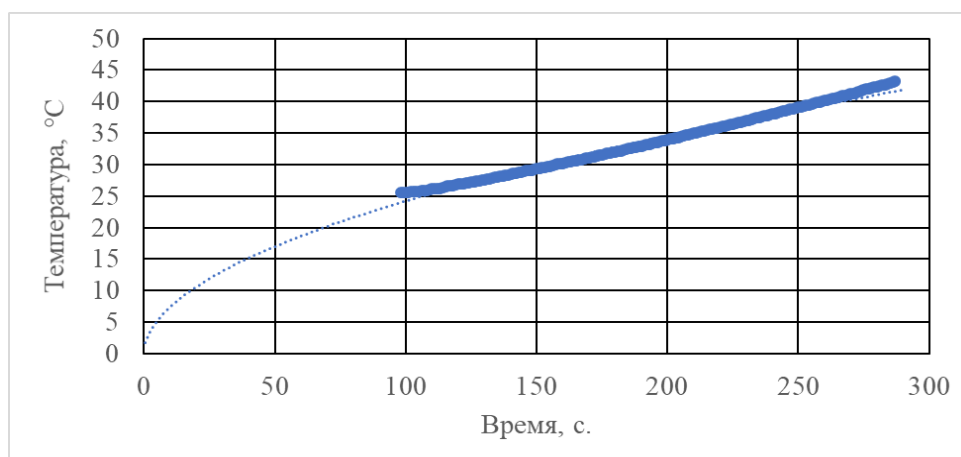


Рис. 5. – Экспериментальная переходная характеристика объекта управления, аппроксимированная степенной функцией

Время, при котором температура первый раз достигла значения 121,543 °С, является 1490 с., что составляет три постоянных времени $3T_{OV} = 1490 \text{ с.}$ Однако данная величина включает в себя также задержку датчика, поэтому её следует вычесть: $T_{OV} = \frac{1490}{3} - 6 = 489,66 \text{ с.}$ Передаточная функция объекта управления примет следующий вид: $W_{OV}(p) = \frac{3,41}{489,66p + 1}$. Промоделируем систему в пакете Matlab/Simulink, собрав схему, представленную на рис. 6.

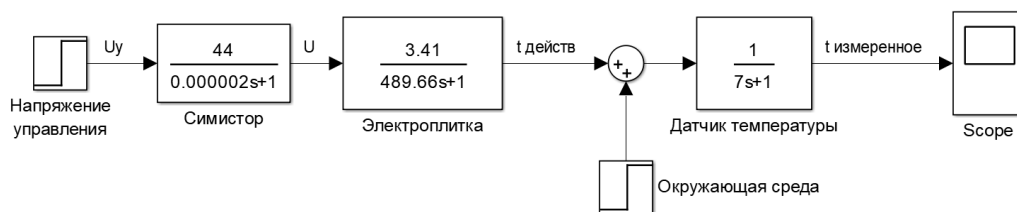


Рис. 6. – Структурная схема моделирования разомкнутого контура

В качестве задающего воздействия, как и в физическом эксперименте, будем подавать 30 Вольт на ОУ, а влияние окружающей среды учтём, путём добавления возмущающего воздействия. Для наглядного сравнения результата моделирования и экспериментальных данных, совместим два графика на одной плоскости, представленной на рис. 7.

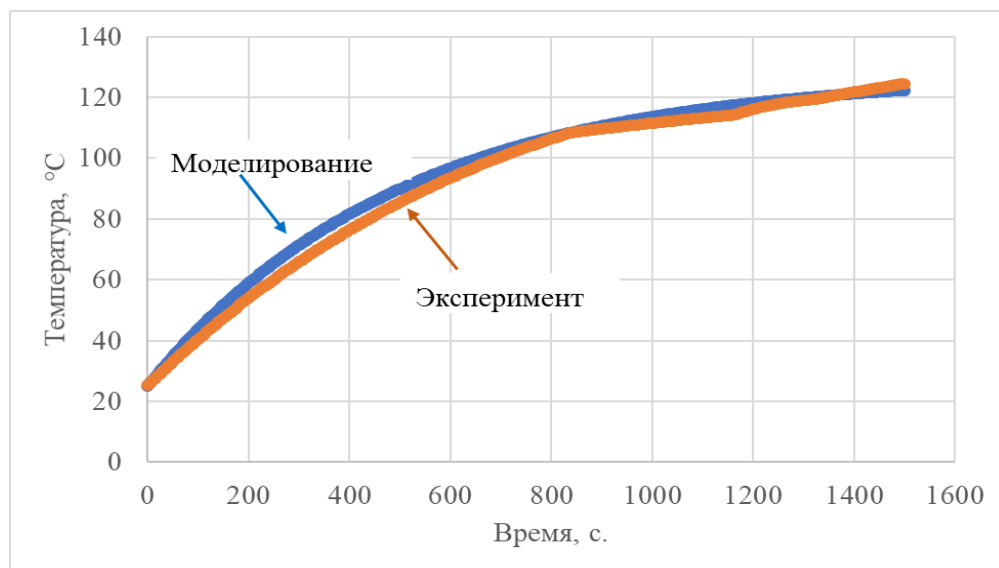


Рис. 7. – График переходного процесса при моделировании, и полученный экспериментальным путём

Оценка математических моделей

Определим точность идентификации по средней квадратической погрешности – формуле Гаусса, так как известно истинное значение измеряемой величины [11]. Подсчитаем абсолютную погрешность всех измерений, по формуле $\Delta A_i = A_{\text{мод}i} - A_{\text{изм}i}$. Затем перейдем в относительную форму по формуле $\delta_i = \frac{\Delta A_i}{A_{\text{изм}i}} \cdot 100\%$. После рассчитаем среднюю квадратическую погрешность по формуле Гаусса $m = \sqrt{\frac{\Delta^2}{n}}$, где n – количество измерений.

В результате вычислений погрешность идентификации модели датчика температуры составила 4,23%, а объекта управления - 2,77%, что является хорошим результатом, поскольку значение менее 5% соответствует высоким показателям.

Заключение

Идентификация параметров системы управления поддержания заданной температуры прошла успешно. Разработанный алгоритм описания материальных объектов математическими моделями показал низкую погрешность, что говорит о применимости данного подхода в реальных технологических процессах управления производством.

Литература

1. Каганов В.Ю., Глинков Г.М., Климовицкий М.Д., Климушкин А.К. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования. М.: Металлургия, 1987. 300 с.
2. Климовицкий, М.Д. Регулирование объектов с переменными параметрами // Автоматика и телемеханика. 1965. № 1. С. 168–172.

3. Jafarov S.M., Mustafayeva A.M. Identification of Dynamic Objects Under Uncertainty And Non- Stationarity Using Etalon Transformers. Procedia Computer Science. 2017. Vol.120. pp. 561-567.
4. Красильников А.Я., Кравченко К.Ю. Устойчивость линейных дифференциальных уравнений с постоянным запаздыванием, описывающих процесс фрезерования // Инженерный вестник Дона, 2014, № 1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2250.
5. Таран В.Н., Чумак И.В. Моделирование характеристик электронного устройства // Инженерный вестник Дона, 2019, № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N5y2019/5957.
6. Ходжаев Т.Т., Каримов Ф.Р. Математические модели функционирования систем управления (добыча и транспорт газа). Изд.-во «Зарафшон», 1993, с. 92.
7. Затонский, А.В., Тугашова Л.Г. Моделирование объектов управления в MatLab. - СПб.: Лань, 2019. - 144 с.
8. Le Bihan D., Fukuyama H. Water: The Forgotten Biological Molecule. - Singapore: Pan Stanford Publishing Pte. Ltd., 2010. - 399 p.
9. Грэхем Р., Кнут Д., Паташник О. Конкретная математика. Основания информатики. М.: Мир, 1998. 703 с.
10. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления // Пер. с англ. Копылова Б.И. - М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. 832 с.
11. Айерлэнд К., Роузен М. Классическое введение в современную теорию чисел. - М.: Мир, 1987. - 416 с.

References

1. V.Yu. Kaganov, G.M. Glinkov, M.D. Klimovitskiy, A.K. Klimushkin Osnovy teorii i elementy sistem avtomaticheskogo regulirovaniya [Fundamentals of theory and elements of automatic control systems]. Moskva: Metallurgiya, 1987. 300 p.

2. Klimovitskiy, M.D. Avtomatika i telemekhanika. 1965. № 1. pp. 168–172.
3. Jafarov S.M., Mustafayeva A.M. Identification of Dynamic Objects Under Uncertainty And Non- Stationarity Using Etalon Transformers. Procedia Computer Science. 2017. Vol.120. pp. 561-567.
4. Krasilnikov A. Ya., Kravchenko K.Yu. Inzhenernyy vestnik Dona, 2014, № 1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2250.
5. Ttaran V.N., Chumak I.V. Inzhenernyy vestnik Dona, 2019, № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N5y2019/5957.
6. Khodzhaev T.T., Karimov F.R. Matematicheskie modeli funktsionirovaniya sistem upravleniya (dobychai transport gaza) [Mathematical models of the functioning of control systems (gas production and transportation)]. Izd.-vo «Zarafshon», 1993. 92 p.
7. Zatonskiy, A.V., Tugashova L.G. Modelirovanie ob"ektov upravleniya v MatLab [Modeling control objects in MatLab]. St. Petersburg: Lan', 2019. 144 p.
8. Le Bihan D., Fukuyama H. Water: The Forgotten Biological Molecule. Singapore: Pan Stanford Publishing Pte. Ltd., 2010. 399 p.
9. Grekhem R., Knut D., Patashnik O. Konkretnaya matematika. Osnovaniya informatiki [Concrete mathematics. Foundations of Informatics]. Moskva: Mir, 1998. 703 p.
10. Dorf C., Robert H. Bishop. Modern control systems. Moskva: Laboratoriya bazovykh znaniy, 2002. 832 p.
11. Ayerlend K., Rouzen M. Klassicheskoe vvedenie v sovremennuyu teoriyu chisel [A classic introduction to modern number theory]. Moskva: Mir, 1987. 416 p.