

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

Факультет прикладной математики информатики и механики  
Кафедра ERP систем и бизнес процессов

**«Криптосистема Эль-Гамала.  
Лабораторная работа»**

Магистерская диссертация  
Направление 01.04.02 прикладная математика и информатика  
Магистерская программа Математическое моделирование

Допущено к защите в ГЭК 31 мая 2018 года

Зав. Кафедрой \_\_\_\_\_  
Обучающийся \_\_\_\_\_  
Руководитель \_\_\_\_\_

Йорг Беккер  
В. А. Ковун  
к.т.н. доцент Б. Н. Воронков

Воронеж — 2018

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	3
Постановка задачи . . . . .	4
1. Общая информация о криптосистеме Эль-Гамала . . . . .	5
1.1 Алгоритм создания открытого и закрытого ключей . . . . .	6
1.2. Шифрование и расшифрование . . . . .	6
1.3. Дешифрование . . . . .	7
1.4. Особенности криптосистемы Эль-Гамала . . . . .	7
2. Алгоритмы решения задачи дискретного логарифмирования . . . . .	9
2.1. В произвольной мультипликативной группе . . . . .	9
2.2. В кольце вычетов по простому модулю . . . . .	9
2.3. Алгоритмы с экспоненциальной сложностью . . . . .	10
2.4. Субэкспоненциальные алгоритмы . . . . .	12
3. Американский стандарт кодирования - ASCII . . . . .	14
4. Анализ DES, ГОСТ 28147-89, Crypto03, El-Gamal . . . . .	16
5. Описание электронной обучающей программы "El-Gamal_Tutor" . . . . .	21
5.1 Общие сведения . . . . .	21
5.2. Функциональное назначение . . . . .	21
5.3. Используемые технические средства . . . . .	21
5.4. Описание логической структуры . . . . .	22
5.5. Описание алгоритма . . . . .	23
5.6. Вызов и загрузка . . . . .	49
5.7. Входные и выходные данные . . . . .	49
6. Описание сценария лабораторной работы . . . . .	50
6.1. Постановка задачи . . . . .	50
6.2. Содержание отчета о выполнении лабораторной работы . . . . .	51
Заключение . . . . .	52
Список используемых источников . . . . .	53
Приложение . . . . .	55

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в вузах Российской Федерации базовые стандарты обучения для ряда специальностей включают в себя разделы, связанные с изучением методов и средств защиты информации. Для успешного освоения данных тем необходимо понимание принципов и знание основных элементов криптографического преобразования информации.

В Интернете можно найти десятки описаний лабораторных работ, посвященных криптографической системе Эль Гамала [1 – 3]. К сожалению, подавляющее большинство из них содержат задания и примеры реализации схемы Эль Гамала без учета особенностей длинной арифметики, не требуя обоснований алгоритмов и использования обучающих программ, не затрагивая вопросы криптоанализа.

Известно несколько компьютерных обучающих программ, позволяющих быстро и достаточно полно ознакомиться с алгоритмами шифрования и расшифрования данных, используемыми в традиционных симметричных и современных асимметричных криптосистемах. К сожалению, эти программы, представленные в сети Интернет, не сопровождаются исходными текстами, ограничиваются краткой справочной информацией и содержат большое число ошибок и недочетов. В связи с этим и было принято решение: разработать алгоритм и реализовать свою электронную обучающую программу для изучения криптосистемы Эль Гамала, а также разработать сценарий лабораторной работы с использованием этой программы. Предлагаемый вариант лабораторной работы призван преодолеть указанные недостатки.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1. Провести анализ криптографического алгоритма Эль Гамала.
2. Разработать сценарий выполнения лабораторной работы по изучению алгоритма Эль Гамала.
3. Ознакомиться с обучающими программами по криптографии: DES, ГОСТ 28147-89, Crypto-03, Elgamal, выявить их достоинства и недостатки.
4. Разработать и реализовать обучающую компьютерную программу "El-Gamal\_Tutor".

# 1. ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О КРИПТОСИСТЕМЕ ЭЛЬ-ГАМАЛЯ

Схема Эль-Гамала (Elgamal) — криптосистема с открытым ключом, основанная на трудности вычисления дискретных логарифмов в конечном поле. Криптосистема включает в себя алгоритм шифрования и алгоритм цифровой подписи. Схема Эль-Гамала лежит в основе бывших стандартов электронной цифровой подписи в США (DSA) и России (ГОСТ Р 34.10-94, ГОСТ Р 34.10-2001). Схема была предложена Тахером Эль-Гамалем в 1985 году. Эль-Гамаль разработал один из вариантов алгоритма Диффи-Хеллмана. Он усовершенствовал систему Диффи-Хеллмана и получил два алгоритма, которые использовались для шифрования и для обеспечения аутентификации. В отличие от RSA алгоритм Эль-Гамала не был запатентован и, поэтому, стал более дешевой альтернативой, так как не требовалась оплата взносов за лицензию. Считается, что алгоритм попадает под действие патента Диффи-Хеллмана.

Криптографические системы с открытым ключом используют так называемые односторонние функции, которые обладают следующим свойством:

- Если известно  $x$ , то  $f(x)$  вычислить относительно просто
- Если известно  $y = f(x)$ , то для вычисления  $x$  нет простого (эффективного) пути.

Под односторонностью понимается не теоретическая однонаправленность, а практическая невозможность вычислить обратное значение, используя современные вычислительные средства, за обозримый интервал времени.

В основу криптографической системы Эль-Гамала положена сложность задачи дискретного логарифмирования в конечном поле. Для шифрования используется операция возведения в степень по модулю большого числа. Для дешифрования за разумное время необходимо уметь вычислять дискретный логарифм в конечном поле по простому модулю, что является вычислительно трудной задачей.

В криптографической системе с открытым ключом каждый участник

располагает как открытым ключом (англ. public key), так и закрытым ключом (англ. private key). В криптографической системе Эль-Гамала открытый ключ состоит из тройки чисел, а закрытый ключ состоит из одного числа. Каждый участник создаёт свой открытый и закрытый ключ самостоятельно. Закрытый ключ каждый из них держит в секрете, а открытые ключи можно сообщать кому угодно или даже публиковать их.

## 1.1. Алгоритм создания открытого и закрытого ключей

Ключи в схеме Эль-Гамала генерируются следующим образом:

1. Генерируется случайное простое число  $p$ .
2. Выбирается целое число  $g$  — первообразный корень  $p$ .
3. Выбирается случайное целое число  $x$ , такое, что  $1 < x < p$ .
4. Вычисляется  $y = g^x \bmod p$ .
5. Открытым ключом является тройка  $(p, g, y)$ , закрытым ключом — число  $x$ .

## 1.2. Шифрование и расшифрование

Предположим, пользователь А хочет послать пользователю Б сообщение . Сообщениями являются целые числа в интервале от 0 до  $p - 1$ . Алгоритм для шифрования:

1. Взять открытый ключ пользователя Б
2. Взять открытый текст  $M$
3. Выбрать сессионный ключ — случайное целое число  $k$  такое, что  $1 < k < p - 1$
4. Зашифровать сообщение с использованием открытого ключа пользователя Б, то есть вычислить числа:  $a = g^k \bmod p$ , и  $b = y^k M \bmod p$ .

Алгоритм для расшифрования:

1. принять зашифрованное сообщение  $(a, b)$  от пользователя А
2. Взять свой закрытый ключ  $M$
3. Применить закрытый ключ для расшифрования сообщения:  $M = b(a^x)^{-1} \bmod p$
4. При этом нетрудно проверить, что  $(a^x)^{-1} \equiv g^{-kx} \pmod{p}$ , и поэтому  $b(a^x)^{-1} \equiv (y^k M)g^{-xk} \equiv (g^{xk} M)g^{-xk} \equiv M \pmod{p}$ .

### 1.3. Дешифрование

Дешифрование - получение открытых данных по зашифрованным в условиях, когда алгоритм расшифрования и его секретные параметры не являются полностью известными и расшифрование не может быть выполнено обычным путем. Алгоритм для дешифрования криптосистемы Эль-Гамала:

1. Перехватить зашифрованное сообщение  $(a, b)$ .
2. Взять открытый ключ  $(p, g, y)$
3. Решить относительно  $x$  уравнение  $y \equiv g^x \pmod{p}$
4. Расшифровать сообщение по формуле  $M = b(a^x)^{-1} \bmod p$

Собственно, самый главный вопрос из этого алгоритма – как по данным  $(p, g, y)$  найти  $x$ . Эта задача называется задачей дискретного логарифмирования [2].

### 1.4. Особенности криптосистемы Эль-Гамала

- Криптосистема асимметричная (двухключевая).
- Блочная, с длиной блока открытого текста меньше или равной длине открытого (публичного) ключа.

- Длина открытого и закрытого ключей, по современным представлениям, 2048 бит или более.
- Используется лишь один метод шифрования – метод аналитических преобразований.
- Базируется на вычислительно трудной задаче дискретного логарифмирования.
- Предоставляет возможность реализации электронной подписи.



## 2. АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИСКРЕТНОГО ЛОГАРИФМИРОВАНИЯ

### 2.1. В произвольной мультипликативной группе

Разрешимости и решению задачи дискретного логарифмирования в произвольной конечной абелевой группе посвящена статья J. Buchmann, M. J. Jacobson и E. Teske [8]. В алгоритме используется таблица, состоящая из  $O(\sqrt{|g|})$  пар элементов, и выполняется  $O(\sqrt{|g|})$  умножений. Данный алгоритм медленный и не пригоден для практического использования. Для конкретных групп существуют свои, более эффективные, алгоритмы.

### 2.2. В кольце вычетов по простому модулю

Рассмотрим сравнение

$$a^x \equiv b \pmod{p} \quad (1)$$

где  $p$  — простое,  $b$  не делится на  $p$ . Если  $a$  является образующим элементом группы  $\mathbb{Z}/p\mathbb{Z}$ , то сравнение (1) имеет решение при любых  $b$ . Такие числа  $a$  называются ещё первообразными корнями, и их количество равно  $\phi(p) = p - 1$ , где  $\phi$  — функция Эйлера. Решение сравнения (1) можно находить по формуле:

$$x \equiv \sum_{i=1}^{p-2} (1 - a^i)^{-1} b^i \pmod{p} \quad (2)$$

Однако, сложность вычисления по этой формуле хуже, чем сложность полного перебора.

Следующий алгоритм [3] имеет сложность  $O(\sqrt{p} \cdot \log p)$ . Алгоритм

1. Присвоить  $H := \lfloor \sqrt{p} \rfloor + 1$
2. Вычислить  $c = a^H \pmod{p}$
3. Составить таблицу значений  $c^u \pmod{p}$  для  $1 \leq u \leq H$  и отсортировать её.

4. Составить таблицу значений  $b \cdot a^v \bmod p$  для  $0 \leq v \leq H$  и отсортировать её.
5. Найти общие элементы в таблицах. Для них  $c^u \equiv b \cdot a^v \pmod{p}$  откуда  $a^{H \cdot u - v} \equiv b \pmod{p}$
6. Выдать  $H \cdot u - v$ .

Существует также множество других алгоритмов для решения задачи дискретного логарифмирования в поле вычетов [3]. Их принято разделять на экспоненциальные и субэкспоненциальные. Полиномиального алгоритма для решения этой задачи пока не найдено.

### 2.3. Алгоритмы с экспоненциальной сложностью

Алгоритм Гельфонда-Шенкса (алгоритм больших и малых шагов, baby-step giant-step) был предложен независимо советским математиком Александром Гельфондом в 1962 году и Дэниэлем Шенксом в 1972 году. Относится к методам встречи посередине. Идея алгоритма состоит в выборе оптимального соотношения времени и памяти, а именно в усовершенствованном поиске показателя степени.

Пусть задана циклическая группа  $G$  порядка  $n$ , генератор группы  $\alpha$  и некоторый элемент группы  $\beta$ . Задача сводится к нахождению целого числа  $x$ , для которого выполняется  $\alpha^x = \beta \bmod m$ .

Алгоритм Гельфонда — Шенкса основан на представлении  $x$  в виде  $x = i \cdot t - j$ , где  $t = \lfloor \sqrt{n} \rfloor + 1$ , и переборе  $1 \leq i \leq t$  и  $0 \leq j \leq t$ . Ограничение на  $i$  и  $j$  следует из того, что порядок группы не превосходит  $t$ , а значит указанные диапазоны достаточны для получения всех возможных из полуинтервала  $[0; t)$ . Такое представление равносильно равенству

$$\alpha^{im} = \beta \alpha^j \tag{3}$$

Алгоритм предварительно вычисляет  $\alpha^{im}$  для разных значений  $i$  и сохраняет их в структуре данных, позволяющей эффективный поиск, а затем перебирает всевозможные значения  $j$  и проверяет, если  $\beta \alpha^j$  соответствует какому-то значению  $i$ . Таким образом находятся индексы

$i$  и  $j$ , которые удовлетворяют соотношению (3) и позволяют вычислить значение  $x = i \cdot t - j$ .

Алгоритму Гельфонда — Шенкса требуется  $O(n)$  памяти. Возможно выбрать меньшее  $t$  на первом шаге алгоритма, но это увеличивает время работы программы до  $O(n/t)$ .



Рис. 1: Мартин Хеллман

Другим методом дискретного логарифмирования является алгоритм Сильвера-Полига-Хеллмана. Он работает, если известно разложение числа  $p - 1 = \prod_{i=1}^s q_i^{\alpha_i}$  на простые множители. Сложность оценивается как  $O(\sum_{i=1}^s \alpha_i (\log p + q_i))$ . Если множители, на которые раскладывается  $p - 1$ , достаточно маленькие, то алгоритм чрезвычайно эффективен. Это необходимо учитывать в выборе параметров при разработке криптографических схем, основанных на вычислительной сложности дискретного логарифмирования, иначе схема будет ненадёжной.

Для применения алгоритма Сильвера-Полига-Хеллмана необходимо знать разложение  $p - 1$  на множители. В общем случае задача факторизации — достаточно трудоёмкая, однако если делители числа — небольшие, то это число можно быстро разложить на множители даже методом последовательного деления. Таким образом, в тех случаях, когда эффективен алгоритм Сильвера-Полига-Хеллмана, необходимость факторизации не усложняет задачу.

Ещё одним методом дискретного логарифмирования является  $\rho$ -метод Полларда, который был предложен Джоном Поллардом в 1978 году, основные идеи алгоритма похожи на  $\rho$ -алгоритм Полларда для

факторизации чисел. Условием работы  $\rho$ -метода Полларда является простота порядка группы, порождённой основанием  $a$  дискретного логарифма по модулю  $p$ .

Алгоритм имеет эвристическую оценку сложности  $O(p^{\frac{1}{2}})$ . По сравнению с другими методами дискретного логарифмирования  $\rho$ -метод Полларда является менее затратным как по отношению к вычислительным операциям, так и по отношению к затрачиваемой памяти. Например, при достаточно больших значениях числа  $p$  данный алгоритм является вычислительно менее сложным, чем алгоритм COS и алгоритм Адлемана. С другой стороны, условие работы алгоритма накладывает серьёзные ограничения на его использование.

## 2.4. Субэкспоненциальные алгоритмы

Данные алгоритмы имеют сложность, оцениваемую как  $O(\exp(c(\log p \log p \log p)^d))$  арифметических операций, где  $c$  и  $0 \leq d \leq 1$  — некоторые константы. Эффективность алгоритма во многом зависит от близости  $c$  к 1 и  $d$  — к 0.

Алгоритм Адлемана [9] появился в 1979 году. Это был первый субэкспоненциальный алгоритм дискретного логарифмирования. На практике он всё же недостаточно эффективен. В этом алгоритме  $d = \frac{1}{2}$ .

Алгоритм COS [3] был предложен в 1986 году математиками Копперсмитом (Don Coppersmith), Одлыжко (Andrew Odlyzko) и Шреппелем (Richard Schoepel). В этом алгоритме константа  $c = 1$ ,  $d = \frac{1}{2}$ . В 1991 году с помощью этого метода было проведено логарифмирование по модулю  $p \approx 10^{58}$ . В 1997 году Вебер [3] провел дискретное логарифмирование по модулю  $p \approx 10^{85}$  с помощью некоторой версии данного алгоритма. Экспериментально показано, что при  $p \leq 10^{90}$  алгоритм COS лучше решета числового поля.

Дискретное логарифмирование при помощи решета числового поля [3] было применено к дискретному логарифмированию позднее, чем к факторизации чисел. Первые идеи появились в 1990-х годах. Алгоритм, предложенный Д. Гордоном в 1993 году [3], имел эвристическую сложность  $O(\exp(3^{3/2}(\log p \log p \log p)^{\frac{1}{3}}))$ , но оказался достаточно непрактичным.

Позднее было предложено множество различных улучшений данного алгоритма. Было показано, что при  $p \geq 10^{100}$  решето числового поля быстрее, чем COS [3]. Современные рекорды в дискретном логарифмировании получены именно с помощью этого метода.

Наилучшими параметрами в оценке сложности на данный момент является  $c = (92 + 26\sqrt{13})^{1/3}/3 \approx 1,902$ ,  $d = \frac{1}{3}$ . Для чисел специального вида результат можно улучшить. В некоторых случаях можно построить алгоритм, для которого константы будут  $c \approx 1,00475$ ,  $d = \frac{2}{5}$ . За счёт того, что константа  $c$  достаточно близка к 1, подобные алгоритмы могут обогнать алгоритм с  $d = \frac{1}{3}$ .

Другая возможность эффективного решения задачи вычисления дискретного логарифма связана с квантовыми вычислениями. Теоретически доказано, что с их помощью дискретный логарифм можно вычислить за полиномиальное время. В любом случае, если полиномиальный алгоритм вычисления дискретного логарифма будет реализован, это будет означать практическую непригодность криптосистем на его основе [3].



### 3. АМЕРИКАНСКИЙ СТАНДАРТ КОДИРОВАНИЯ - ASCII

ASCII (англ. American Standard Code for Information Interchange) — американская стандартная 7-битная кодировочная таблица для печатных символов и некоторых специальных кодов, использующаяся в компьютерной коммуникации. ASCII представляет собой кодировку для представления десятичных цифр, латинского и национального алфавитов, знаков препинания и управляющих символов.

Таблица была разработана и стандартизована в 1963 году. Множество современных кодировок и стандартов (UTF-8, Win-1251, КОИ-8) являются расширениями стандарта ASCII. В СССР стандарт был утвержден в 1987 году в виде таблицы международной ссылочной версии кода КОИ-7 НО ГОСТ 27463-87 (СТ СЭВ 356-86) «Системы обработки информации. 7-битные кодированные наборы символов» [?].

Dec	Hex	Oct	Chr	Dec	Hex	Oct	HTML	Chr	Dec	Hex	Oct	HTML	Chr	Dec	Hex	Oct	HTML	Chr
0	0	000	NULL	32	20	040	&#032;	Space	64	40	100	&#064;	@	96	60	140	&#096;	`
1	1	001	Start of Header	33	21	041	&#033;	!	65	41	101	&#065;	A	97	61	141	&#097;	a
2	2	002	Start of Text	34	22	042	&#034;	"	66	42	102	&#066;	B	98	62	142	&#098;	b
3	3	003	End of Text	35	23	043	&#035;	#	67	43	103	&#067;	C	99	63	143	&#099;	c
4	4	004	End of Transmission	36	24	044	&#036;	\$	68	44	104	&#068;	D	100	64	144	&#100;	d
5	5	005	Enquiry	37	25	045	&#037;	%	69	45	105	&#069;	E	101	65	145	&#101;	e
6	6	006	Acknowledgment	38	26	046	&#038;	&	70	46	106	&#070;	F	102	66	146	&#102;	f
7	7	007	Bell	39	27	047	&#039;	'	71	47	107	&#071;	G	103	67	147	&#103;	g
8	8	010	Backspace	40	28	050	&#040;	(	72	48	110	&#072;	H	104	68	150	&#104;	h
9	9	011	Horizontal Tab	41	29	051	&#041;	)	73	49	111	&#073;	I	105	69	151	&#105;	i
10	A	012	Line feed	42	2A	052	&#042;	*	74	4A	112	&#074;	J	106	6A	152	&#106;	j
11	B	013	Vertical Tab	43	2B	053	&#043;	+	75	4B	113	&#075;	K	107	6B	153	&#107;	k
12	C	014	Form feed	44	2C	054	&#044;	,	76	4C	114	&#076;	L	108	6C	154	&#108;	l
13	D	015	Carriage return	45	2D	055	&#045;	-	77	4D	115	&#077;	M	109	6D	155	&#109;	m
14	E	016	Shift Out	46	2E	056	&#046;	.	78	4E	116	&#078;	N	110	6E	156	&#110;	n
15	F	017	Shift In	47	2F	057	&#047;	/	79	4F	117	&#079;	O	111	6F	157	&#111;	o
16	10	020	Data Link Escape	48	30	060	&#048;	0	80	50	120	&#080;	P	112	70	160	&#112;	p
17	11	021	Device Control 1	49	31	061	&#049;	1	81	51	121	&#081;	Q	113	71	161	&#113;	q
18	12	022	Device Control 2	50	32	062	&#050;	2	82	52	122	&#082;	R	114	72	162	&#114;	r
19	13	023	Device Control 3	51	33	063	&#051;	3	83	53	123	&#083;	S	115	73	163	&#115;	s
20	14	024	Device Control 4	52	34	064	&#052;	4	84	54	124	&#084;	T	116	74	164	&#116;	t
21	15	025	Negative Ack.	53	35	065	&#053;	5	85	55	125	&#085;	U	117	75	165	&#117;	u
22	16	026	Synchronous idle	54	36	066	&#054;	6	86	56	126	&#086;	V	118	76	166	&#118;	v
23	17	027	End of Trans. Block	55	37	067	&#055;	7	87	57	127	&#087;	W	119	77	167	&#119;	w
24	18	030	Cancel	56	38	070	&#056;	8	88	58	130	&#088;	X	120	78	170	&#120;	x
25	19	031	End of Medium	57	39	071	&#057;	9	89	59	131	&#089;	Y	121	79	171	&#121;	y
26	1A	032	Substitute	58	3A	072	&#058;	:	90	5A	132	&#090;	Z	122	7A	172	&#122;	z
27	1B	033	Escape	59	3B	073	&#059;	;	91	5B	133	&#091;	[	123	7B	173	&#123;	{
28	1C	034	File Separator	60	3C	074	&#060;	<	92	5C	134	&#092;	\	124	7C	174	&#124;	
29	1D	035	Group Separator	61	3D	075	&#061;	=	93	5D	135	&#093;	]	125	7D	175	&#125;	}
30	1E	036	Record Separator	62	3E	076	&#062;	>	94	5E	136	&#094;	^	126	7E	176	&#126;	~
31	1F	037	Unit Separator	63	3F	077	&#063;	?	95	5F	137	&#095;	_	127	7F	177	&#127;	Del

Рис. 2: ASCII коды

В криптографических программах ASCII используется для

преобразования символов текста в цифры, чтобы текст было возможно представить в виде чисел и совершать над ним криптографические преобразования. Например: большим буквам английского алфавита соответствуют значения с 97 по 122.

Поскольку на подавляющем большинстве современных компьютеров минимально адресуемой единицей памяти является байт (размером в 8 бит), там используются 8-битные, а не 7-битные символы. Обычно символ ASCII расширяют до 8 бит, подставляя нулевой бит в качестве старшего. Таким образом, каждый преобразованный в число символ занимает ровно один байт. Уменьшение размера одного символа для криптосистем главным образом означает возможность передать большой шифротекст в одном блоке при неизменной длине ключа.

## 4. АНАЛИЗ DES, ГОСТ 28147-89, CRYPTO03, EL-GAMAL

Перед началом написания программы “El-Gamal\_Tutor” были изучены другие приложения для обучения криптосистемам. Одними из них были: DES, ГОСТ 28147-89, Crypto-03 и El-Gamal.

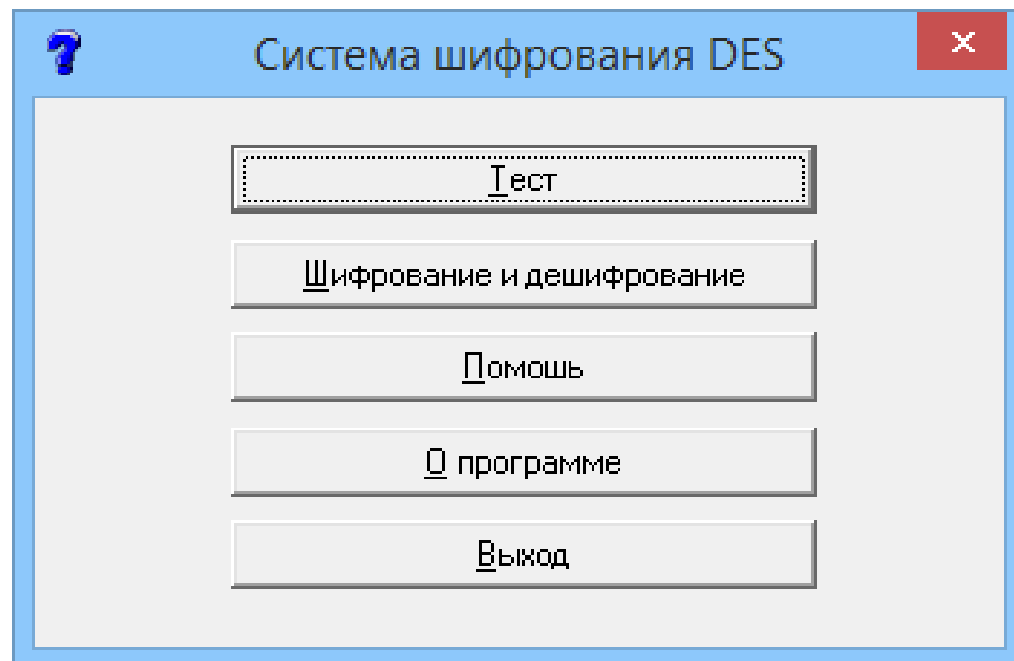


Рис. 3: Главное меню программы "Система шифрования DES"

Программа "Система шифрования DES" предлагает режим обучения симметричной криптосистеме DES, а так же, в качестве дополнительной функции, возможность зашифровать и расшифровать произвольное сообщение используя криптосистему DES.

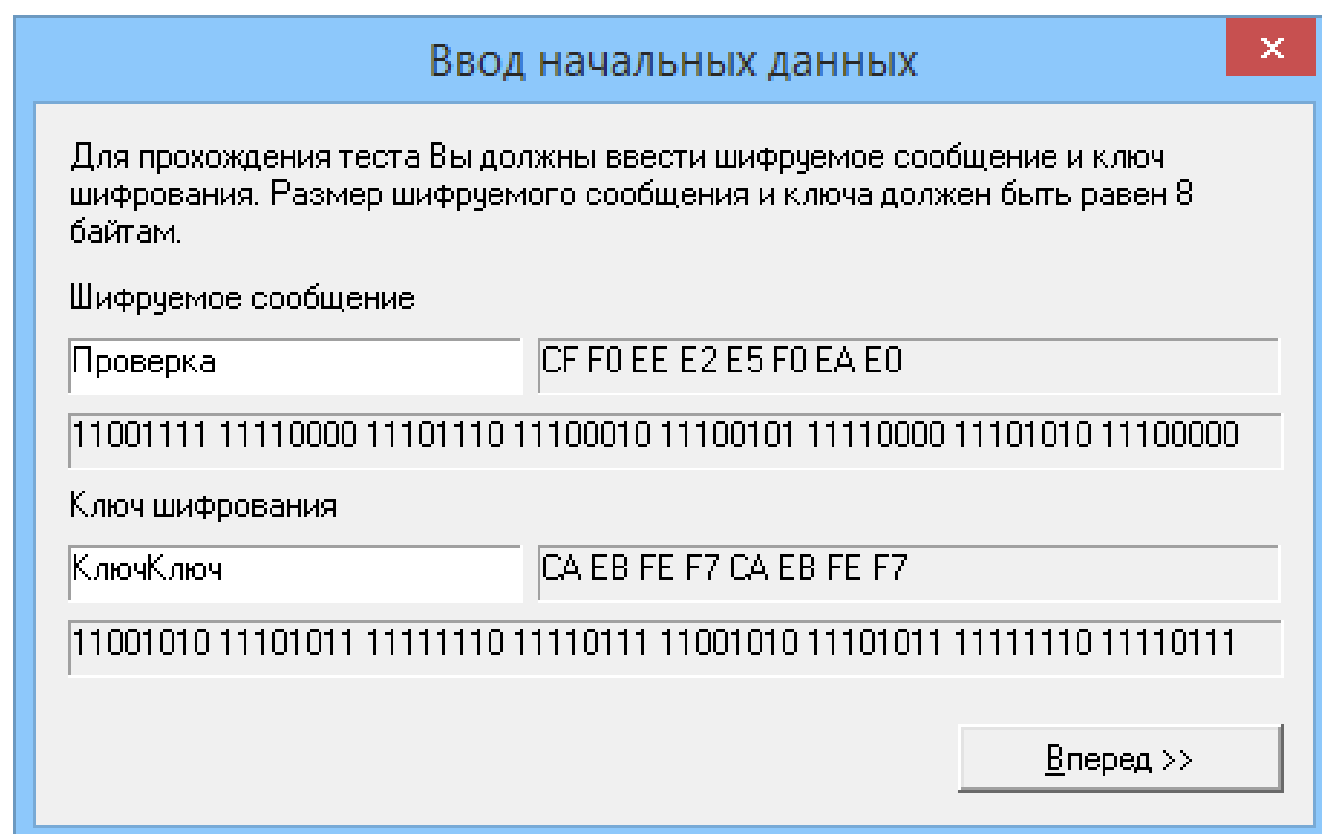


Рис. 4: Ввод начальных данных



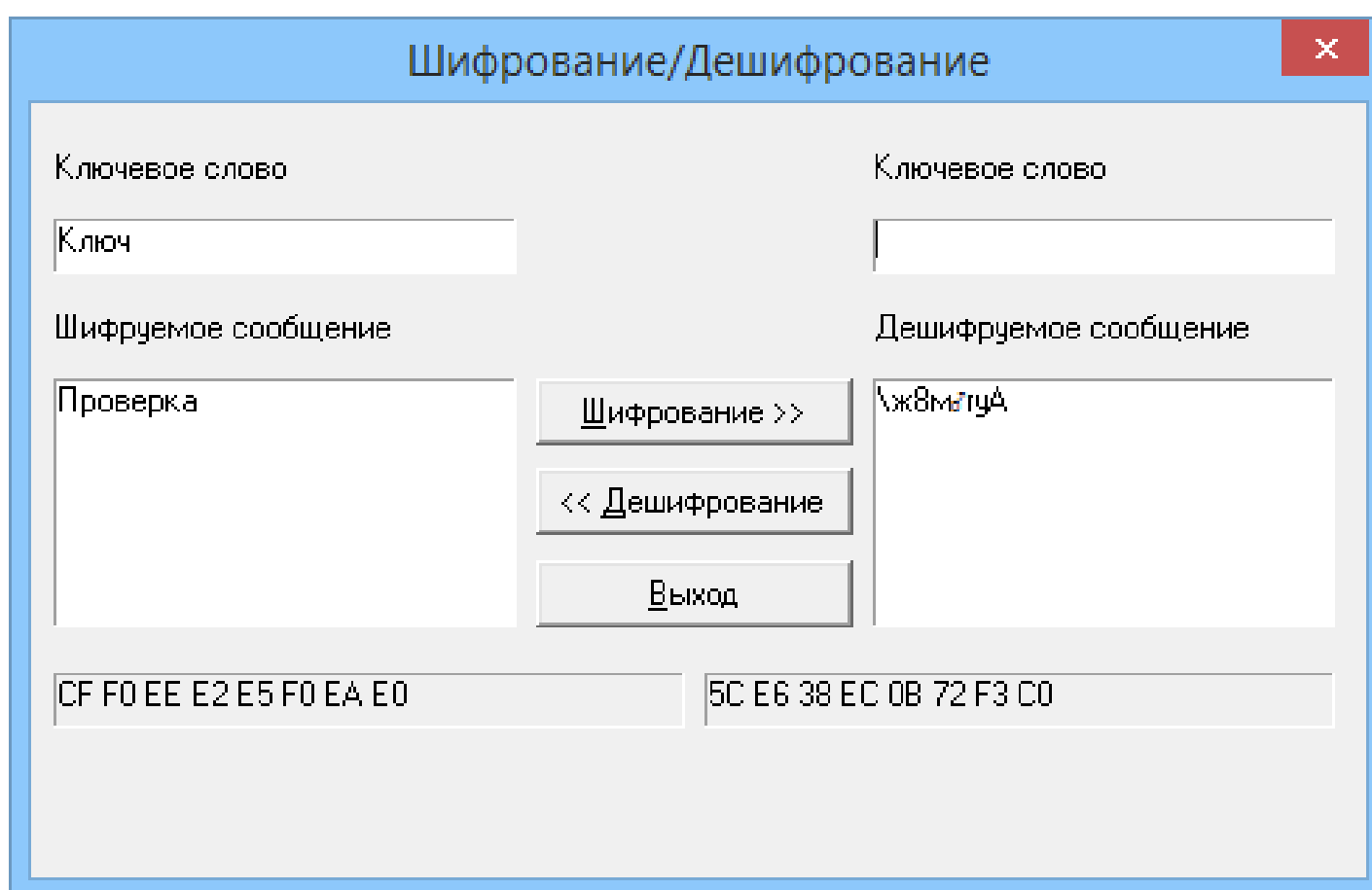


Рис. 5: Шифрование/Расшифрование [4]

В данном случае в программе режим называется неправильно, так как на самом деле вместо дешифрования происходит расшифрование.

К сожалению, программа не предлагает дополнительных возможностей, таких, как отдельный режим проведения криптографических вычислений и преобразований.

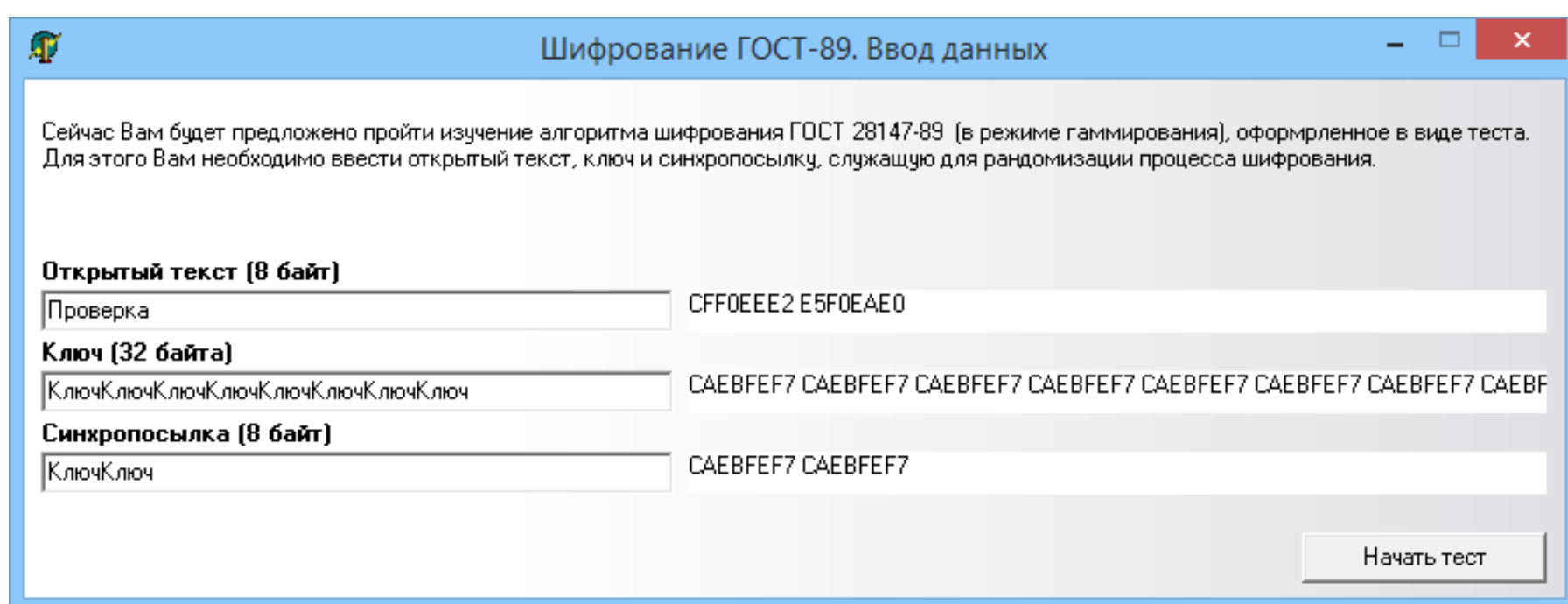


Рис. 6: Ввод данных в обучающей программе ГОСТ 28147-89

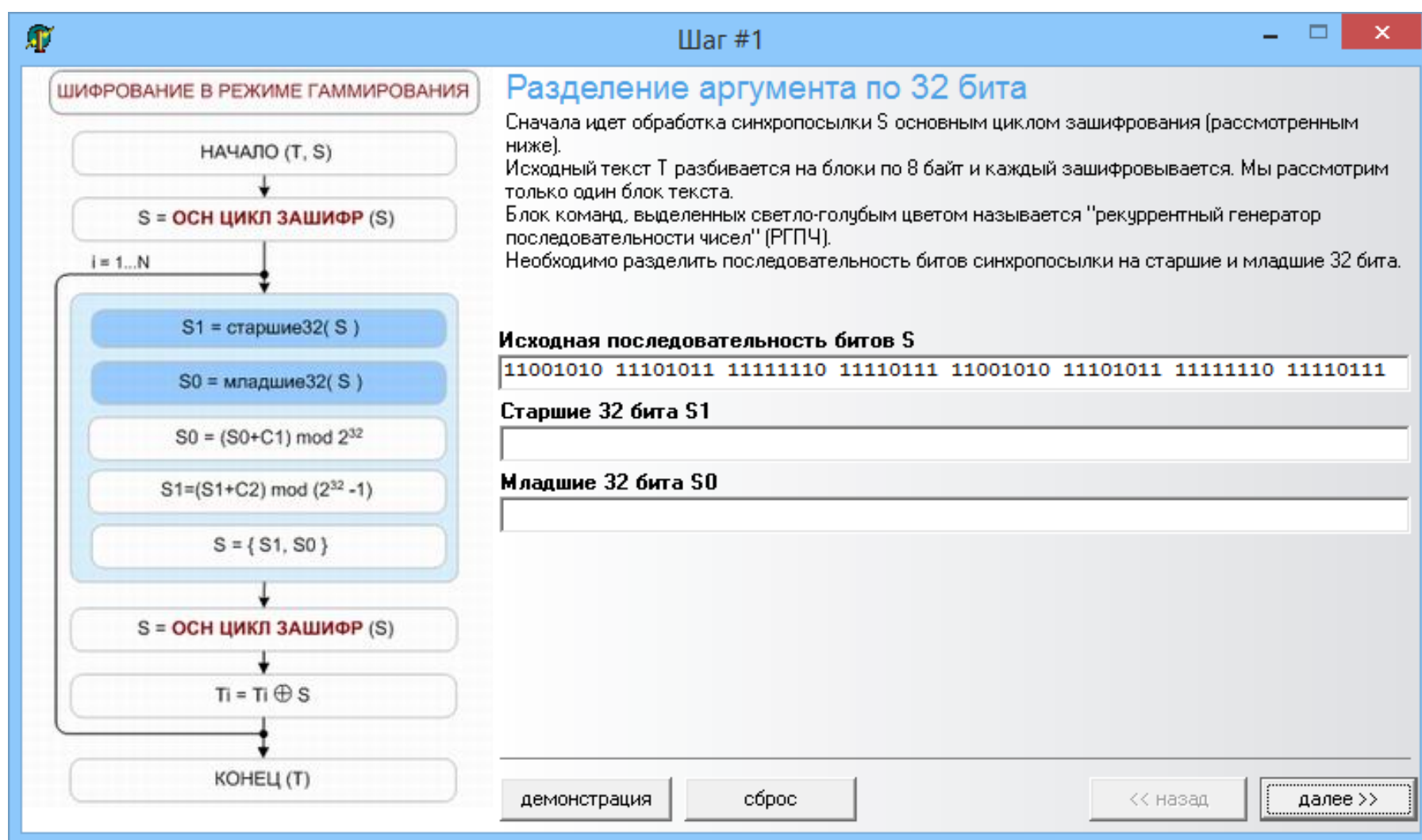


Рис. 7: Первый шаг обучения ГОСТ 28147-89 [6]

Как и программа "Система шифрования DES", программа ГОСТ 28147-89 не предлагает дополнительных криптографических или математических возможностей. Программа не предлагает дополнительных криптографических или математических функций и не предлагает возможности опробовать криптографический алгоритм ГОСТ-89 на произвольном сообщении без необходимости проходить при этом шаги обучения криптосистеме.

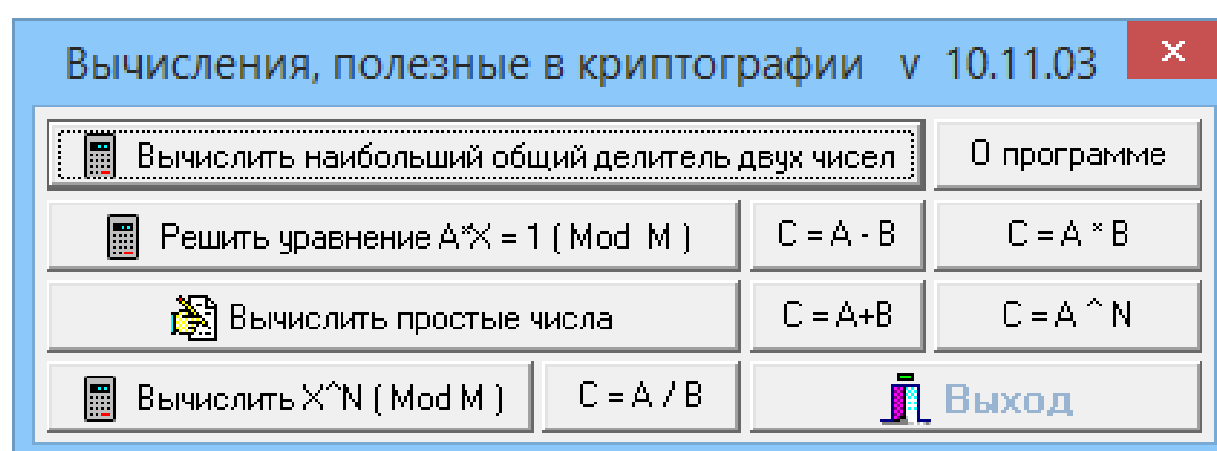


Рис. 8: Основная форма программы вычислений, полезных в криптографии v.10.11.2003 – Crypto03 [4]

Программа Crypto03 представляет собой своего рода криптографический калькулятор, содержащий в себе ряд вычислительных функций, полезных в криптографии. Она не предоставляет режима обучения.

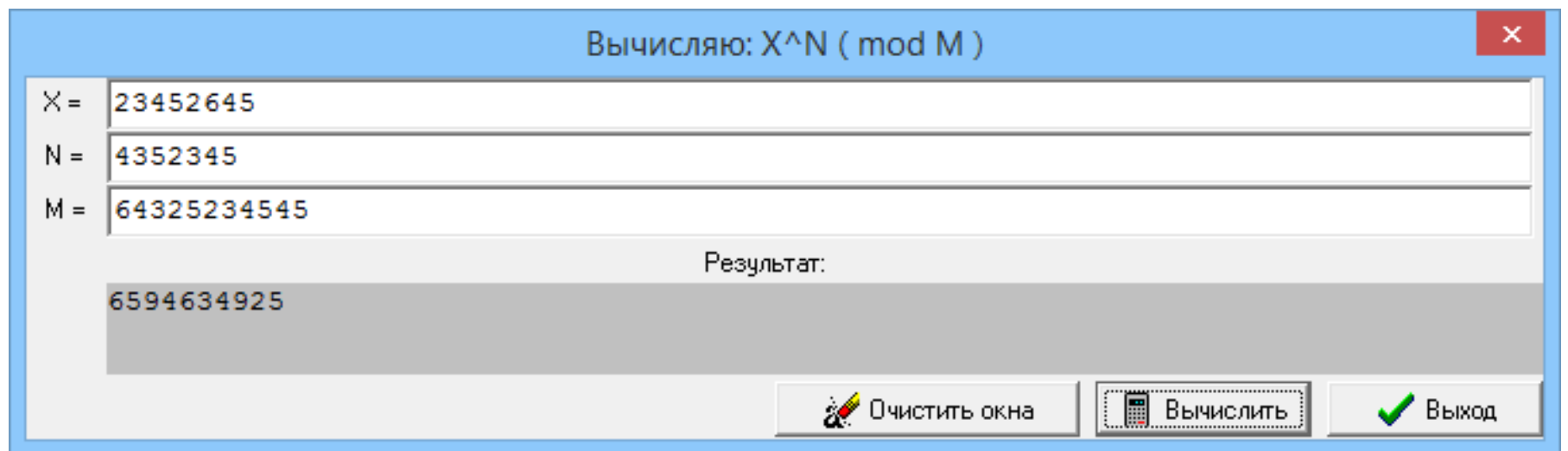


Рис. 9: Вычисление  $X^N \bmod M$  в программе Crypto03

Программа El-Gamal - обучающая программа, посвящённая криптосистеме Эль-Гамала. Основными недостатками программы являются скупая подача обучающего материала и весьма неудобный интерфейс. Программа не предлагает дополнительных криптографических или математических функций, а также проблематична в освоении без использования документации.

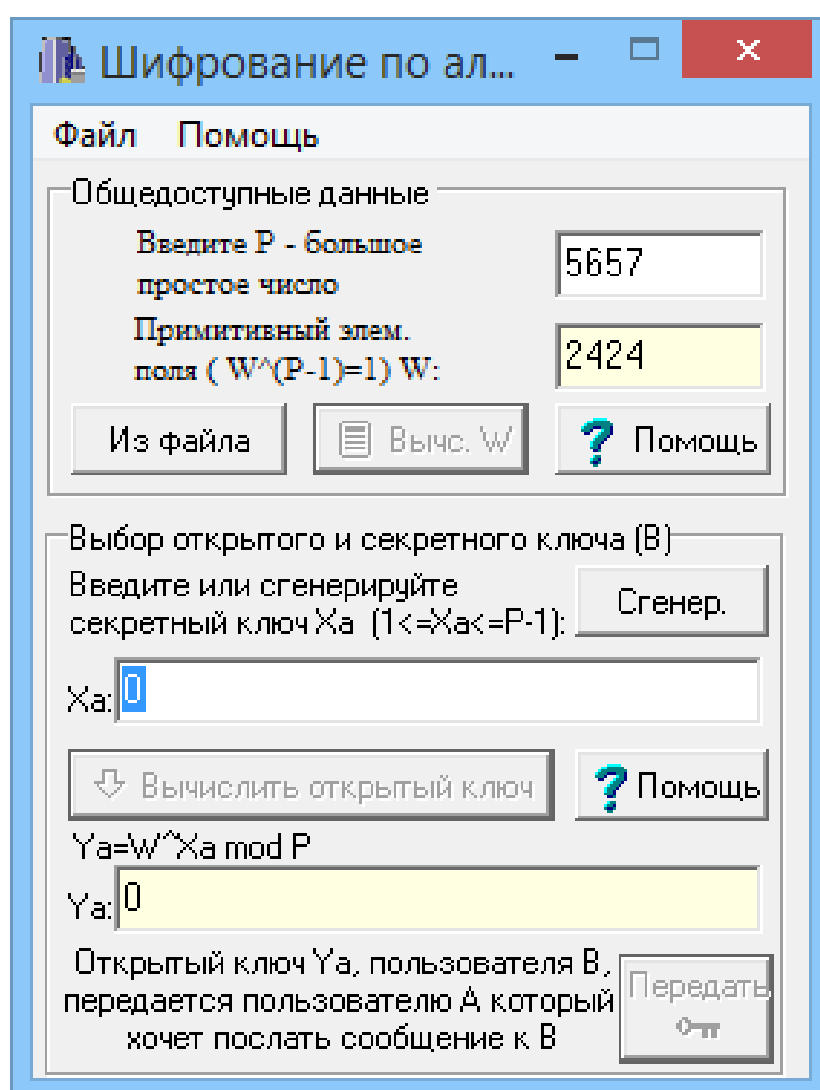


Рис. 10: Основная форма обучающей программы El-Gamal [5]

После рассмотрения всех этих программ, была сформирована картина того, как должна выглядеть будущая электронная обучающая программа El-Gamal\_Tutor.

## **5. ОПИСАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ "EL-GAMAL\_TUTOR"**

Посредством среды программирования Microsoft Visual Studio Community 2017 создано приложение, предназначенное для обучения основам криптографической системы Эль-Гамала.

### **5.1. Общие сведения**

Программа написана на языке программирования C# в визуальной среде Microsoft Visual Studio 2017 Community Edition с использованием программной платформы Microsoft .NET Framework 4.5. Проект общим объемом 1.84 Мб. Программа функционирует в операционной системе Windows 7 или новее.

При разработке использовались модули: System.Collections.Generic, System.ComponentModel, System.Data, System.Drawing, System.Linq, System.Text, System.Threading.Tasks, System.Windows.Forms, System.Numerics.

Размер генерируемых программой ключей теоретически ничем не ограничен, практически же он ограничен в соответствии с характеристиками компьютера, на котором запускается программа.

### **5.2. Функциональное назначение**

Приложение предназначено для обучения методам и алгоритмам, используемым при реализации асимметричной криптографической системы Эль-Гамала, а также частичной проверки знаний учащегося.

Дополнительные функции приложения позволяют использовать его в качестве программы для небольших полезных в криптографии вычислений.

### **5.3. Используемые технические средства**

Компьютер с шестиядерным процессором 3.2 GHz, 8 Gb RAM, Microsoft Windows 10 x64.

## 5.4. Описание логической структуры

Программа логически разделена на две части: режим обучения и вспомогательные функции.

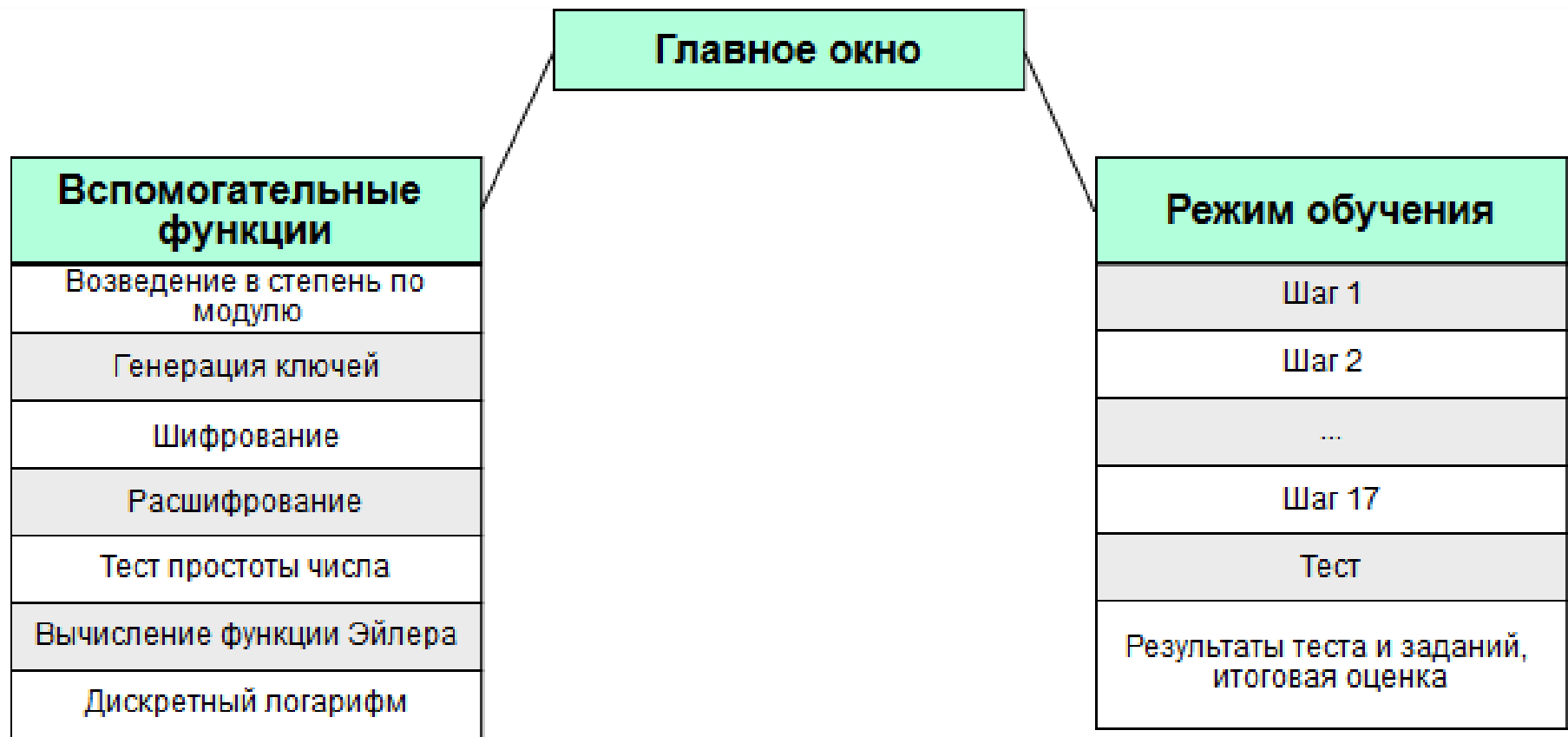


Рис. 11: Блок-схема программы "El-Gamal\_Tutor"

В режиме обучения рассматриваются математические основы, на которых базируется криптосистема Эль-Гамала, алгоритмы генерации ключей, шифрования и расшифрования, а также основы криптоанализа системы и некоторые алгоритмы дискретного логарифмирования. Дополнительный функционал включает в себя различные вычислительные возможности, так или иначе связанные с криптосистемой Эль-Гамала. Они могут использоваться как в совокупности с обучением криптосистеме, так и отдельно от него.

## 5.5. Описание алгоритма

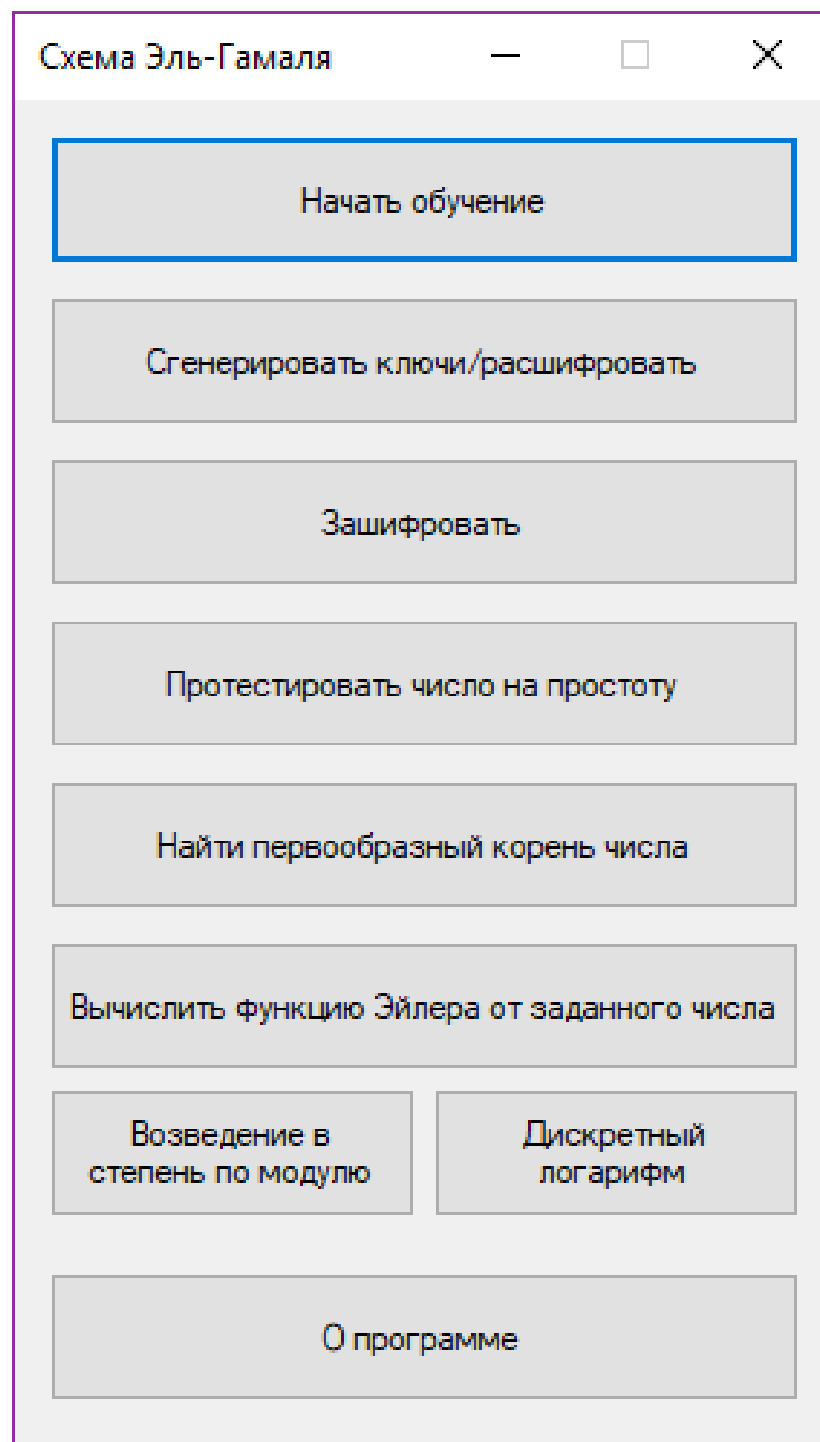


Рис. 12: Основное меню программы "El-Gamal\_Tutor"

Генерация ключей и расшифрование

Генерация/ввод ключей:

Кол-во разрядов  $p$  (только для генерации):

30

$p =$

517467185476731163468517378827

Сгенерировать

$g =$

2

Сгенерировать

$x =$

290187221376274324058782963120

Сгенерировать

$y =$

308728593639302017025256895664

Вычислить

Расшифрование:

$a =$

496976537142753426250778832233

$b =$

279270060747999426426084244771

Расшифровать

Расшифрованное сообщение:

Эль-Гамаль

Рис. 13: Генерация ключей и расшифрование

В режиме генерации ключей мы можем сгенерировать ключи для криптосистемы Эль-Гамала, а также расшифровать необходимую фразу из шифротекста с использованием этих ключей.



Шифрование

Зашифрование:

p = 517467185476731163468517378827

g = 2

y = 308728593639302017025256895664

k = 1308825640321312561 Сгенерировать

Текст для зашифровки: Эль-Гамаль Шифровать!

Шифротекст:

a = 496976537142753426250778832233

b = 279270060747999426426084244771

Рис. 14: Результат шифрования

Режим шифрования позволяет зашифровать сообщение пользователя с помощью введённого открытого ключа.

Тест простоты

Введите число:

2133361524376715562757651

Тест

Введённое число - простое

Рис. 15: Тест простоты произвольного числа

Режим теста простоты позволяет проверить, является ли введённое целое неотрицательное число простым или составным. Для определения простоты числа в программе используется вероятностный тест Миллера-Рабина, количество «свидетелей простоты» - 4000.

Рис. 16: Вычисление первообразного корня по заданному модулю

Режим вычисления первообразного корня позволяет вычислить первообразный (или примитивный) корень для большого числа. Поскольку полный метод вычисления первообразного корня очень медленен для больших чисел, в программе предусмотрена возможность вычисления первообразного корня по «упрощённому» методу, который даёт ответ, верный только с некоторой вероятностью.

Рис. 17: Вычисление функции Эйлера

Режим вычисления функции Эйлера позволяет вычислить количество чисел, взаимно простых с заданным.

**X^Y MOD M**

X = 4345756111154649614113243787547487584525164216537582761

Y = 1532155624186748145651111563454156541385447544711623418

M = 5341265134211651344613486787819912316354487871654646726

**Вычислить**

X^Y MOD M = 2899615178108335402708419232116921097863094883771643977

Рис. 18: Возведение в степень по модулю

Режим возведения в степень по модулю представляет собой калькулятор заданных степеней произвольных чисел по заданному модулю.

**Дискретный логарифм**

$A^x = B \bmod M$

**Случайные данные**

A 489089

B 25430788

M 555126753227

**Алгоритм Гельфонда-Шенкса** **Р-метод Полларда** **Алгоритм Полига-Хеллмана**

**X = 552147215997**

Рис. 19: Дискретное логарифмирование

Режим дискретного логарифмирования позволяет произвести поиск решения уравнения  $A^X = B \bmod M$  для произвольных целых чисел A и B и простого числа M. Для поиска решения пользователю предлагается использовать три алгоритма дискретного логарифмирования: алгоритм Гельфонда-Шенкса,  $\rho$ -метод Полларда и алгоритм Полига-Хеллмана.

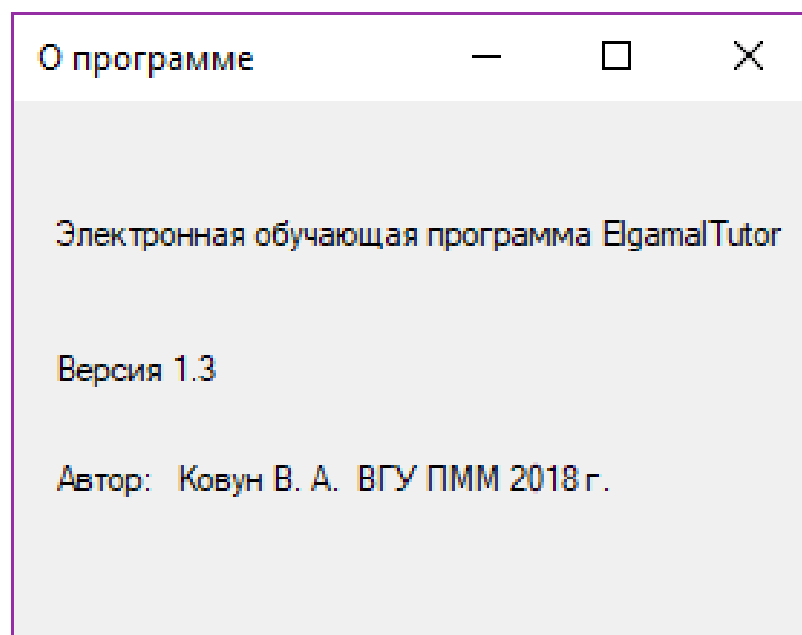


Рис. 20: О программе

В окне «О программе» мы можем увидеть информацию о приложении El-Gamal\_Tutor.

Теперь перейдем к режиму обучения. Он состоит из нескольких шагов.

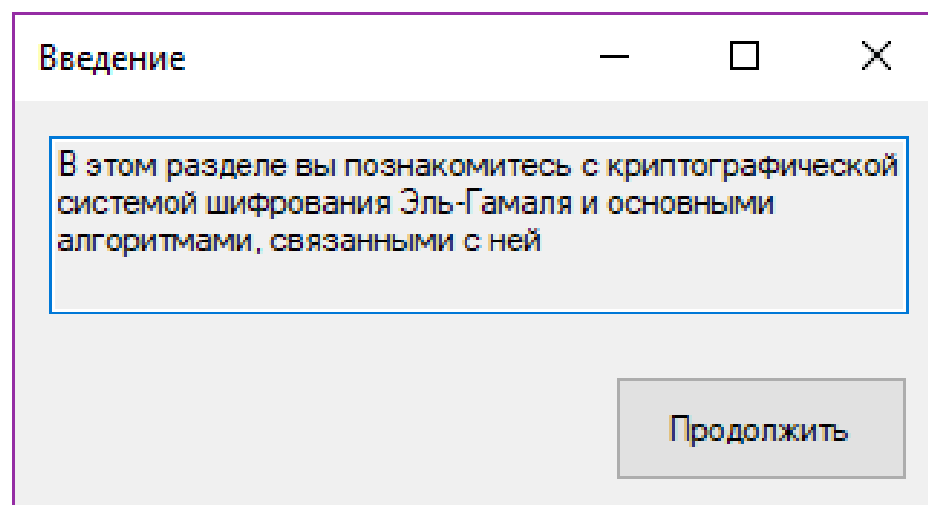


Рис. 21: Введение

На первом шаге рассказывается про операцию возведения в степень по модулю и предлагается решить три примера. Условия заданий генерируются случайным образом.

Возведение в степень по модулю

Возведение в степень по модулю – это вычисление остатка от деления натурального числа  $b$  (основание), возведенного в степень  $e$  (показатель степени), на натуральное число  $m$  (модуль).  
Например, пусть нам даны  $b = 5$ ,  $e = 3$  и  $m = 13$ , тогда решение  $s = 8$  - это остаток от деления  $5^3$  на 13.  
Обозначение:  $s = b^e \bmod m$ .

Попробуйте возвести 3 в степень 3 по модулю 15

Ответ:

$9^4 \bmod 19 =$

Ответ:

$6^4 \bmod 13 =$

Ответ:

Далее

Рис. 22: Возведение в степень по модулю

На втором шаге рассказывается про функцию Эйлера и предлагается решить три примера. Условия заданий так же генерируются случайным образом.

Функция Эйлера

Функция Эйлера  $\varphi(n)$  – мультипликативная арифметическая функция, равная количеству натуральных чисел, меньших  $n$  и взаимно простых с ним. При этом полагают, что число 1 взаимно просто со всеми натуральными числами, и  $\varphi(1)=1$ .

Например, для числа 24 существует 8 меньших него и взаимно простых с ним чисел (1, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23), поэтому  $\varphi(24)=8$ .

Для произвольного натурального числа  $n$  функция Эйлера может быть вычислена по следующей формуле, где  $p[1]...p[n]$  – простые числа, являющиеся делителями числа  $n$  согласно основной теореме арифметики:

$$\varphi\left(\prod_{i=1}^n p_i^{k_i}\right) = \prod_{i=1}^n (p_i^{k_i} - p_i^{k_i-1})$$

$\varphi(24) =$

8

$\varphi(9) =$

6

$\varphi(8) =$

4

Назад

Далее

Рис. 23: Функция Эйлера

На третьем шаге объясняется операция нахождения обратного по модулю числа, и предлагается найти два таких числа для сгенерированных условий.

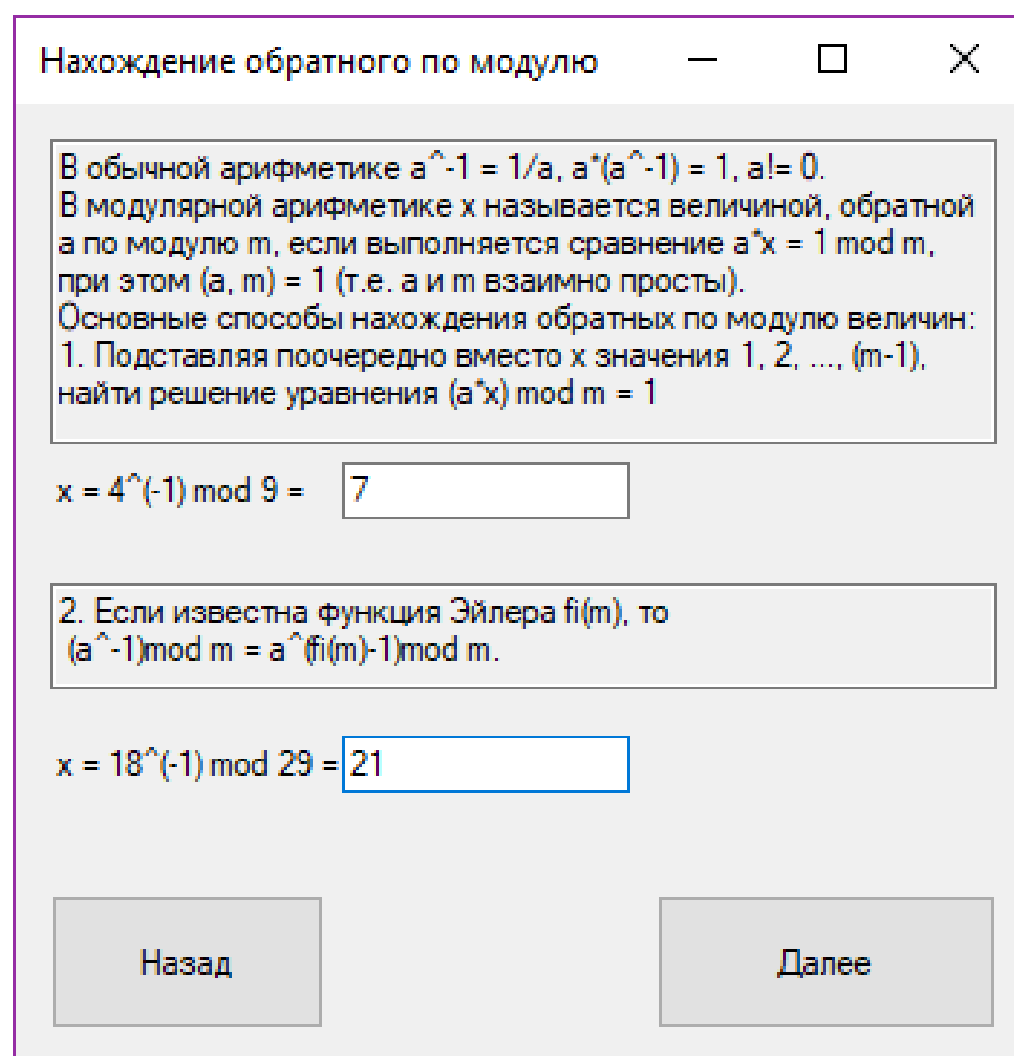


Рис. 24: Обратное по модулю число

Четвёртый шаг рассказывает о Тахере Эль-Гамале.

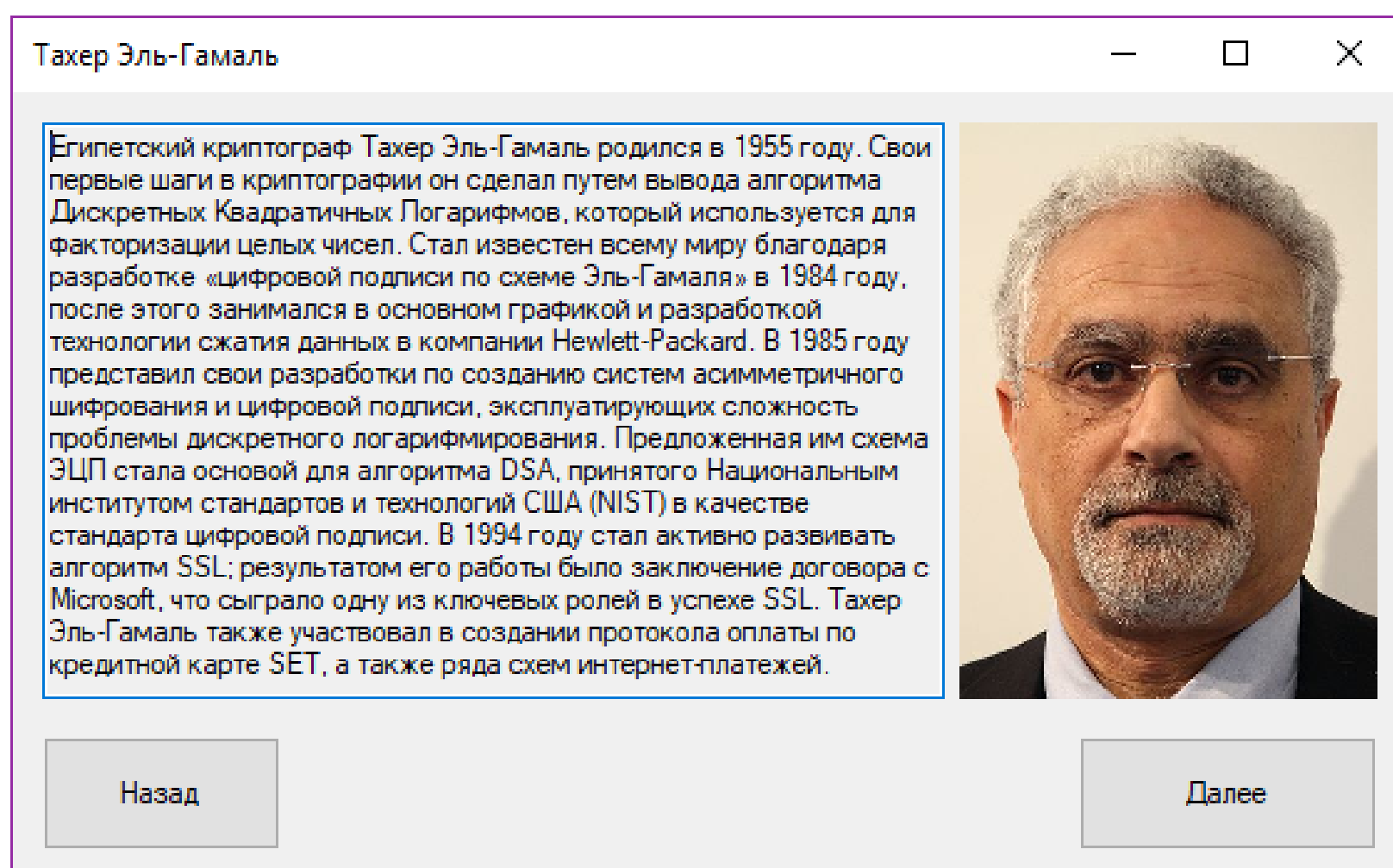


Рис. 25: Тахер Эль-Гамаль

Пятый шаг рассказывает общую информацию о схеме Эль-Гамала и основных стандартах где она использовалась или используется.

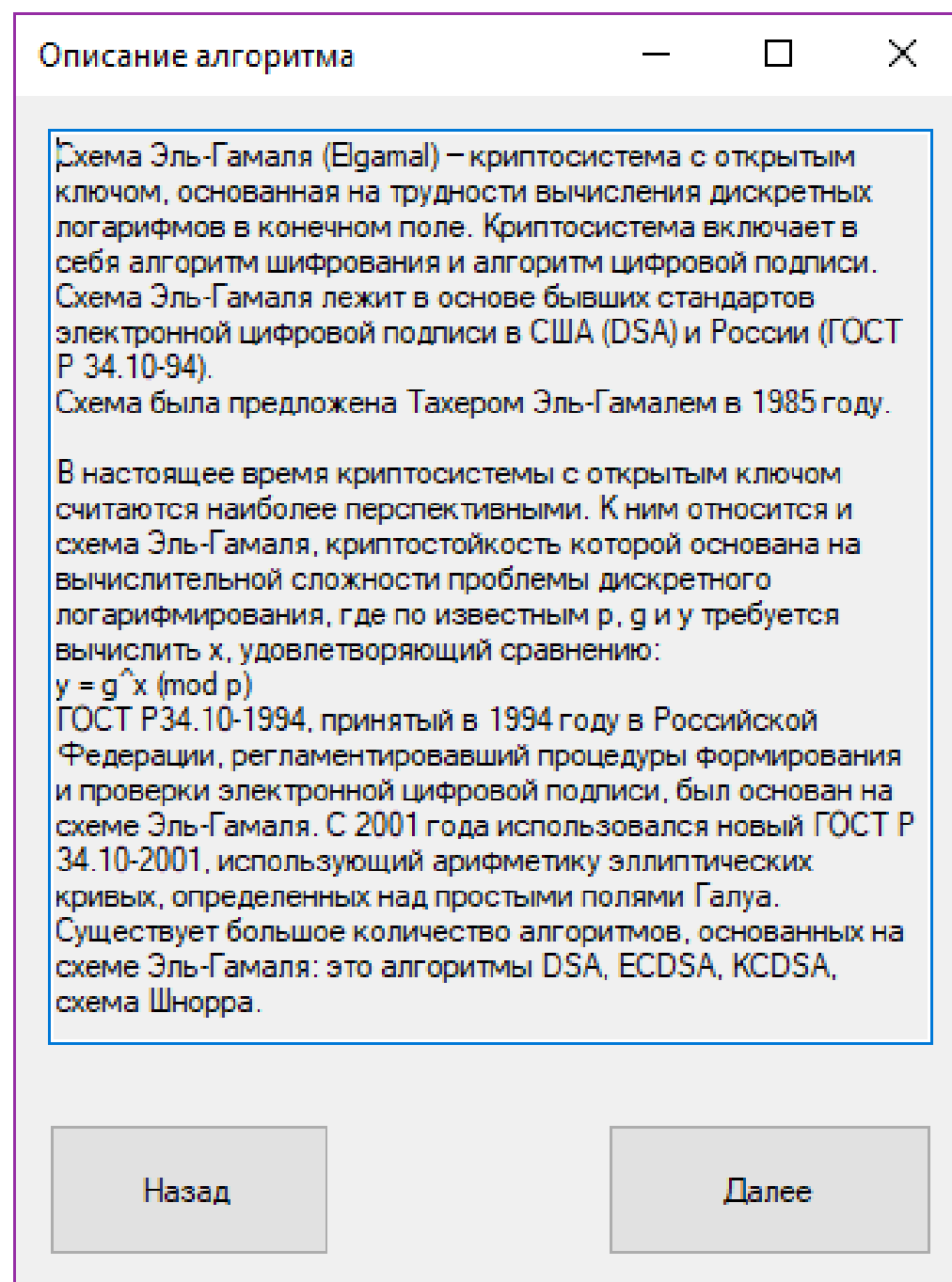


Рис. 26: Общая информация о криптосистеме

На пятом шаге мы видим конкретный пример генерирования ключей криптосистемы. Числа  $p$  и  $x$  можно как вводить с клавиатуры, так и случайно сгенерировать.



Генерация ключей

—

□

×

Ключи в схеме Эль-Гамала генерируются следующим образом:

1. Генерируется случайное простое число  $p$ .

Генерировать

611722643447422623837281716387

2. Вычисляется число  $g$ , которое является первообразным корнем числа  $p$ .

Вычислить

2

3. Выбирается целое случайное число  $x$ , такое, что  $1 < x < p$ .

Генерировать

364459084728326874992850904736

4. Вычисляется  $y = g^x \bmod p$ .

Вычислить

532331016690079393158023521900

Тройка чисел  $(p, g, y)$  является открытым ключом схемы Эль-Гамала, а число  $x$  - секретным ключом.

Назад

Далее

Рис. 27: Генерация ключей

На следующем шаге объясняется алгоритм шифрования по схеме Эль-Гамала.

Шифрование

Итак, по открытому каналу получен открытый ключ  $(g, p, y)$ , со значениями:  
 $g = 2$   
 $p = 611722643447422623837281716387$   
 $y = 532331016690079393158023521900$   
Теперь получившая открытый ключ сторона может зашифровать сообщение  $M$ .

Введите  $M$ :

Шифрование в схеме Эль-Гамала осуществляется в три этапа.

1. Выбираем сессионный ключ: случайное  $k$ , такое, что  $1 < k < p-1$

Сгенерировать

2. Вычисляем число  $a = g^k \bmod p$ .

Вычислить

3. Вычисляем число  $b = y^k * M \bmod p$ .

Вычислить

Пара чисел  $(a, b)$  является шифротекстом.

Назад

Далее

Рис. 28: Шифрование

Следующий шаг показывает, как с помощью открытого и секретного ключей расшифровать сообщение, введённое и зашифрованное на предыдущем шаге.

34

Расшифрование

Итак, мы получили шифротекст:  
a = 164495149760850741500294664111  
b = 259783102045393445813194326242  
Также у нас есть открытый ключ:  
g = 2  
p = 611722643447422623837281716387  
y = 532331016690079393158023521900  
и секретный ключ  
x = 364459084728326874992850904736  
Сообщение M можно получить по формуле:  $M = b \cdot (a^x)^{-1} \bmod p$

Или, если перевести в текст:

Таким образом, мы провели все этапы шифрования по схеме Эль-Гамала.

Рис. 29: Расшифрование

На следующем шаге рассказывается о математической задаче дискретного логарифмирования, её связи с криптоанализом схемы Эль-Гамала, а также предлагается вручную решить два задания. Задания на этом шаге генерируются случайным образом.

Дискретное логарифмирование

Для дешифрования (криптоанализа) перехваченных сообщений, зашифрованных по криптосистеме Эль-Гамала, необходимо также перехватить открытый ключ и подобрать секретный ключ  $x$ , такой, что  $g^x \bmod p = y$ . Задача вычисления такого числа называется задачей дискретного логарифмирования. В данном случае нам необходимо найти логарифм по основанию  $g$  от числа  $y$  по модулю  $p$ .

Попробуйте найти логарифм по основанию 2 и модулю 5 от числа 1:  
Ответ:

Логарифм по основанию 5 и модулю 7 от числа 4:  
Ответ:

Задача дискретного логарифмирования обладает большой вычислительной сложностью и является одной из основных задач, на которых базируется криптография с открытым ключом. На сегодняшний день не существует алгоритмов, позволяющих вычислить дискретный логарифм в конечном поле за полиномиальное время. Существующие алгоритмы решения этой задачи - такие, как алгоритм Шенкса (он же алгоритм больших и малых шагов), решают задачу за экспоненциальное время. Одна из теоретических возможностей эффективного решения задачи вычисления дискретного логарифма связана с квантовыми вычислениями.

Назад

Далее

Рис. 30: Дискретный логарифм

На следующем шаге рассказывается о существующих экспоненциальных алгоритмах нахождения дискретного логарифма. Для наглядной демонстрации вычислительной сложности дискретного логарифмирования пользователю предлагается реализовать алгоритм полного перебора для дискретного логарифмирования и убедиться в полной непригодности этого метода даже для сравнительно небольших модулей.

36

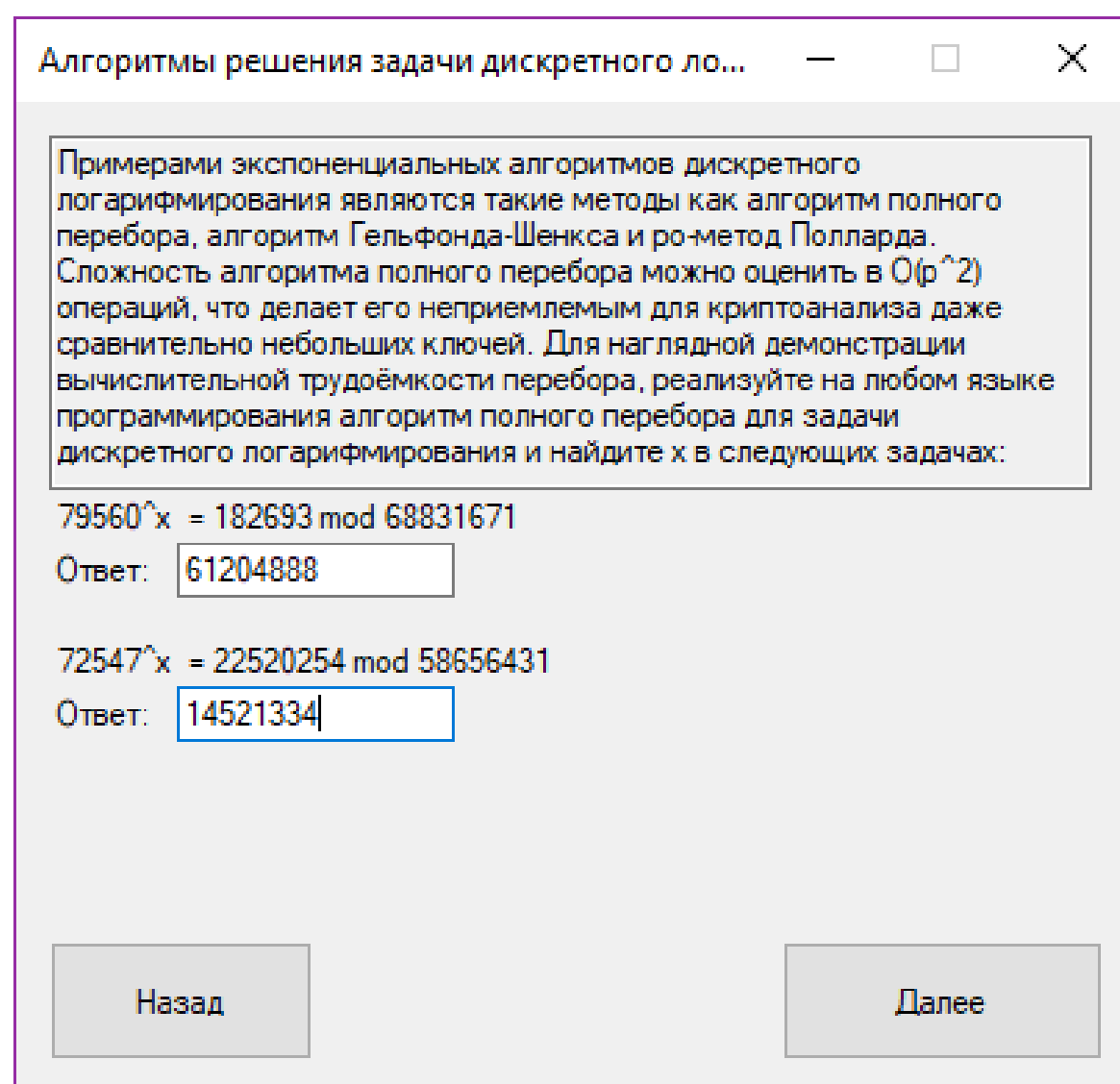


Рис. 31: Алгоритмы дискретного логарифмирования

На следующих трёх шагах рассказывается об одном из алгоритмов дискретного логарифмирования - алгоритме Гельфонда-Шенкса, также известном как алгоритм больших и малых шагов. На первом из этих шагов пользователь получает общую информацию об алгоритме Гельфонда-Шенкса.

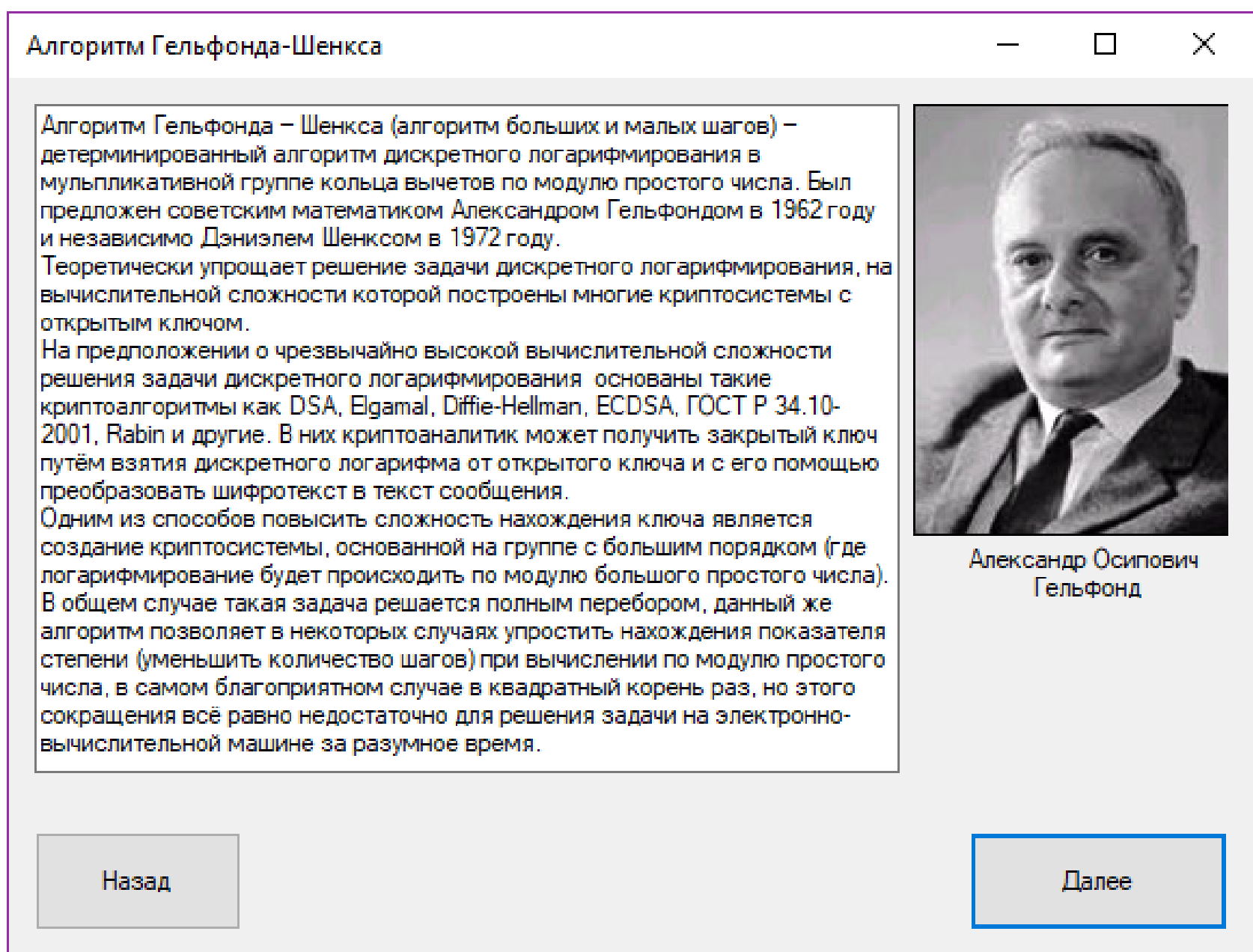


Рис. 32: Общая информация об алгоритме Гельфонда-Шенкса

На следующем шаге пользователь знакомится с математическим обоснованием алгоритма Гельфонда-Шенкса и, на ещё одном шаге пользователю демонстрируются шаги алгоритма Гельфонда-Шенкса, записанные превдокодом.

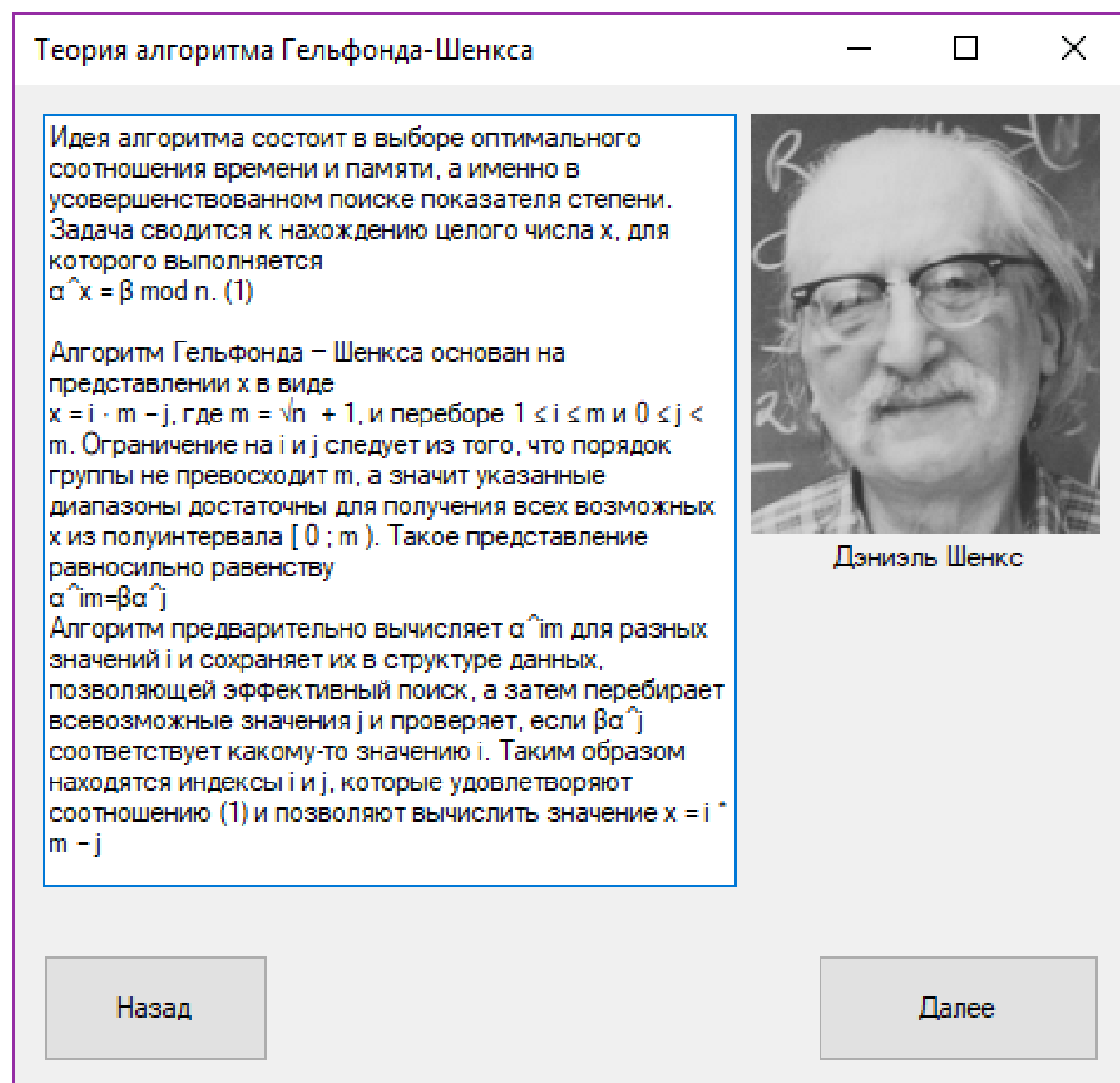


Рис. 33: Математическое обоснование алгоритма Гельфонда-Шенкса

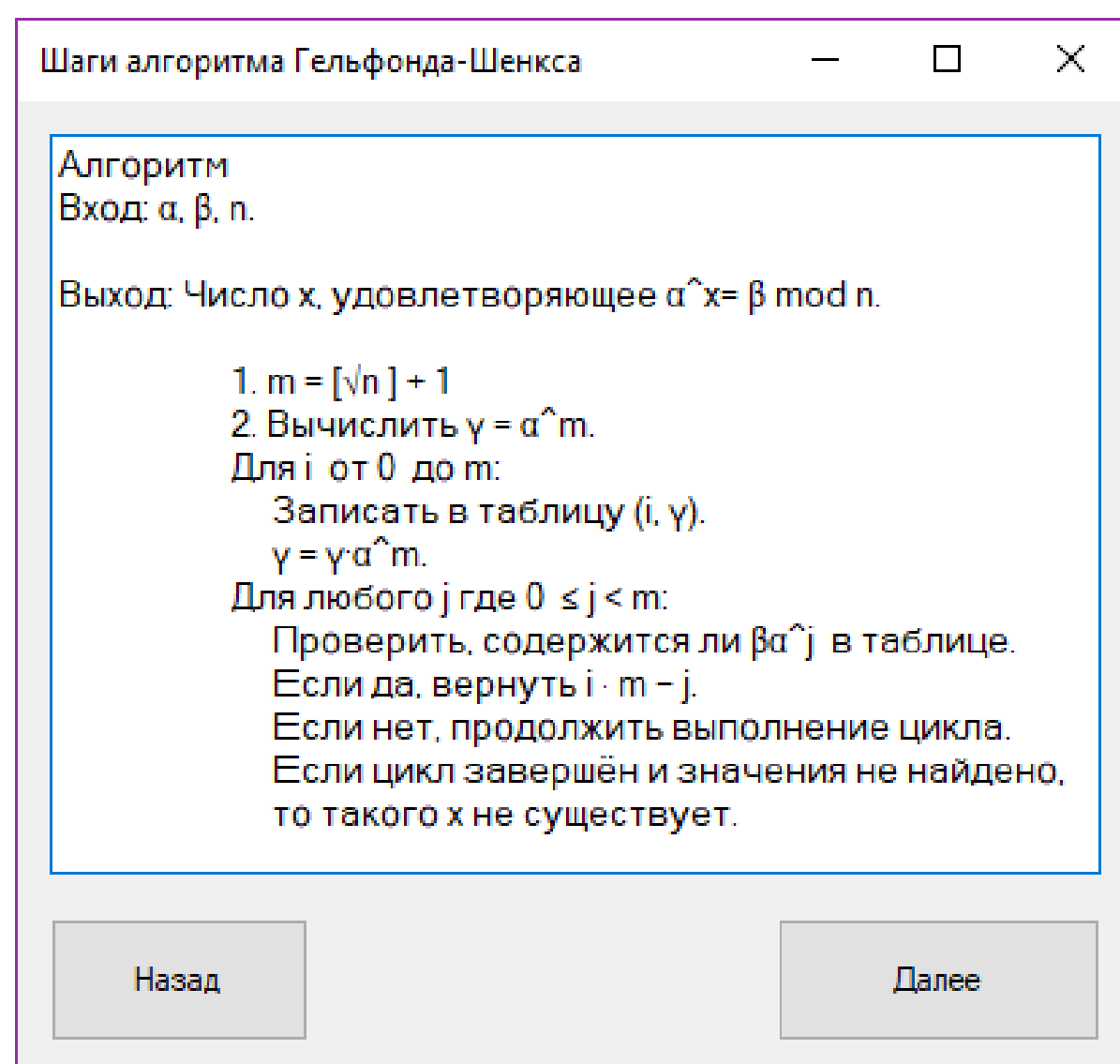


Рис. 34: Псевдокод алгоритма Гельфонда-Шенкса

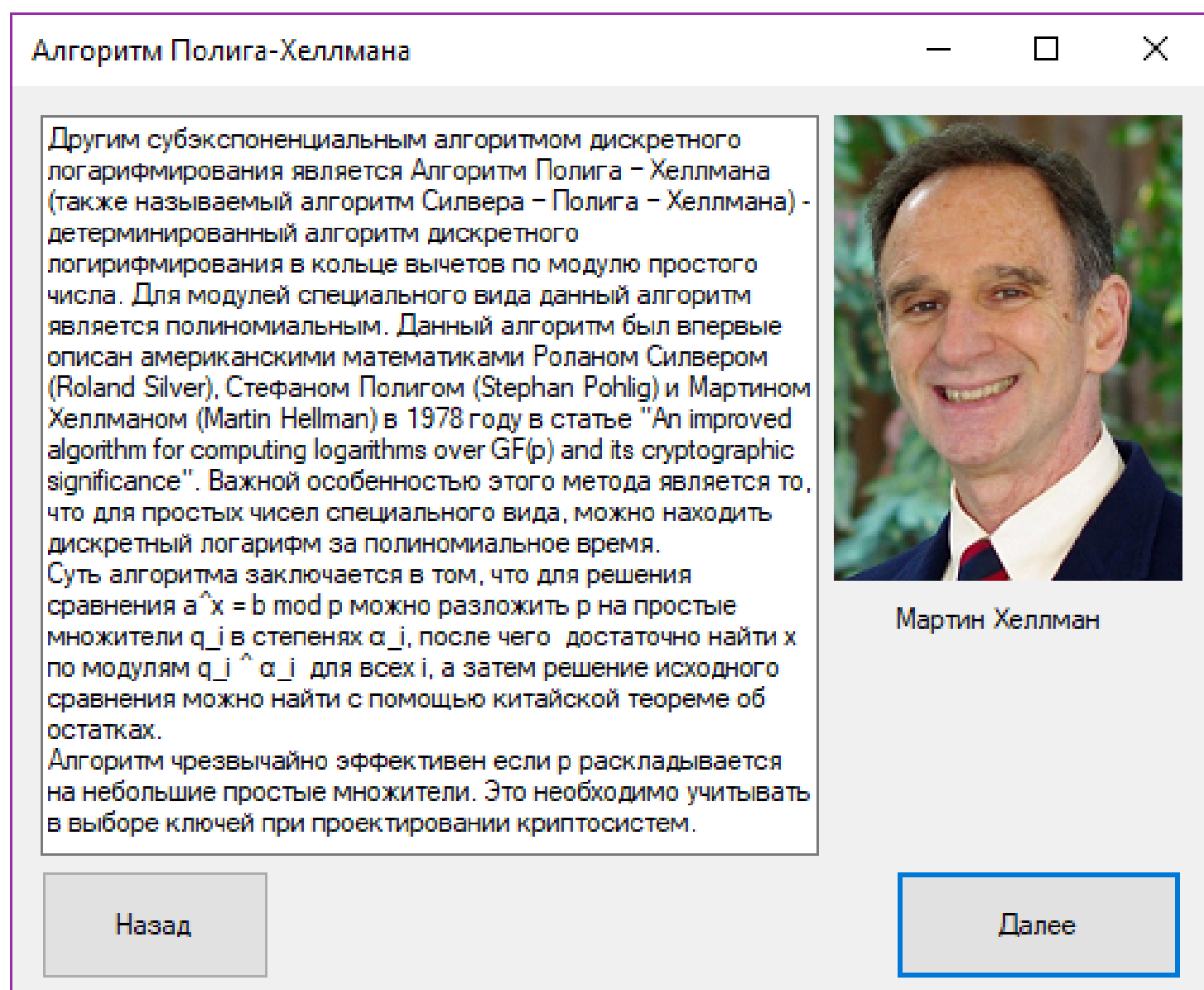


Рис. 35: Общая информация об алгоритме Полига-Хеллмана

На следующих трёх шагах рассказывается о другом алгоритме дискретного логарифмирования - алгоритме Силвера-Полига-Хеллмана. На первом из этих шагов пользователь получает общую информацию об этом алгоритме.



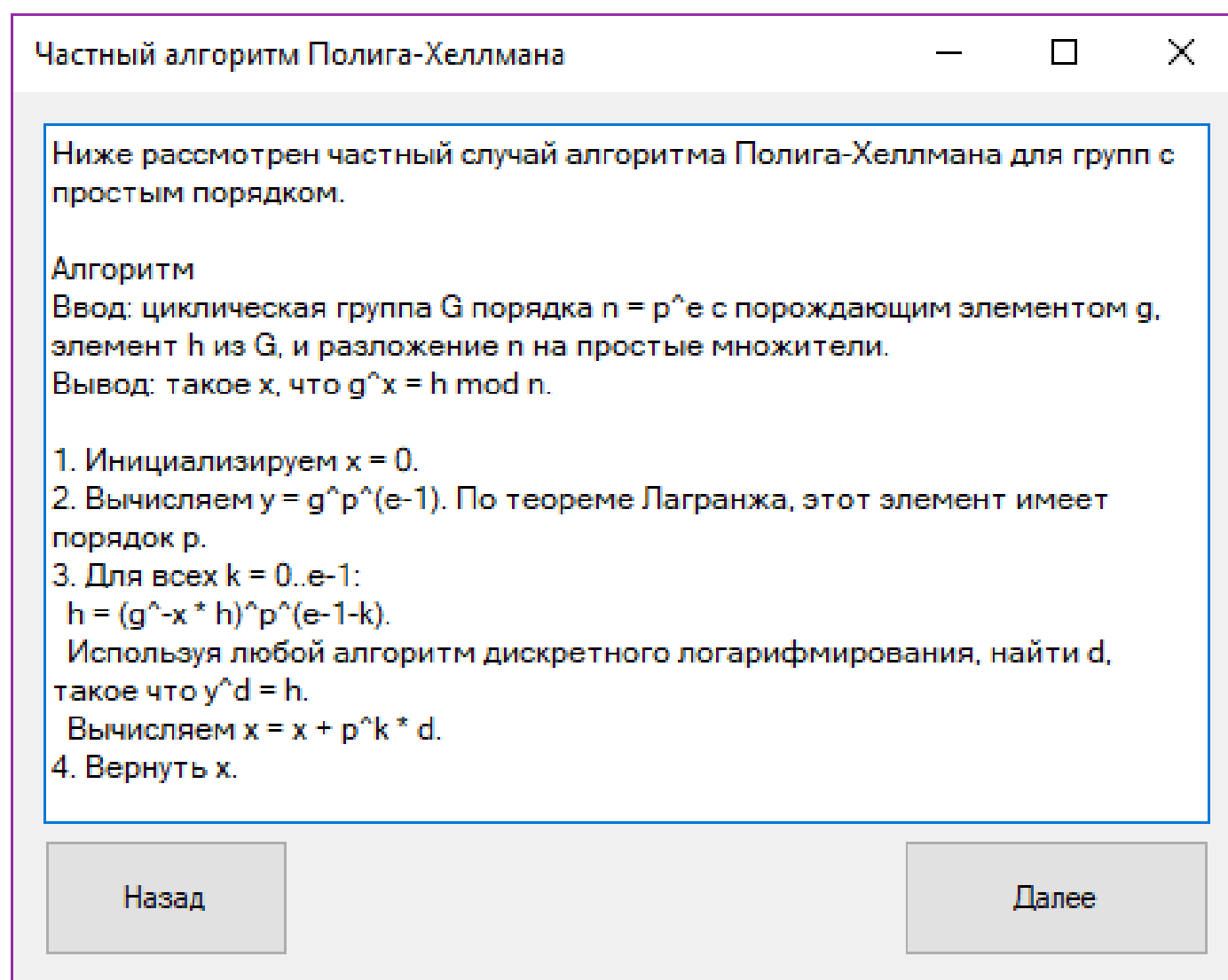


Рис. 36: Частный случай алгоритма Полига-Хеллмана

На втором из этих шагов обучения демонстрируется псевдокод частного случая алгоритма Полига-Хеллмана, применимого только для групп с простым порядком. Этот алгоритм используется в общем алгоритме Сильвера-Полига-Хеллмана.

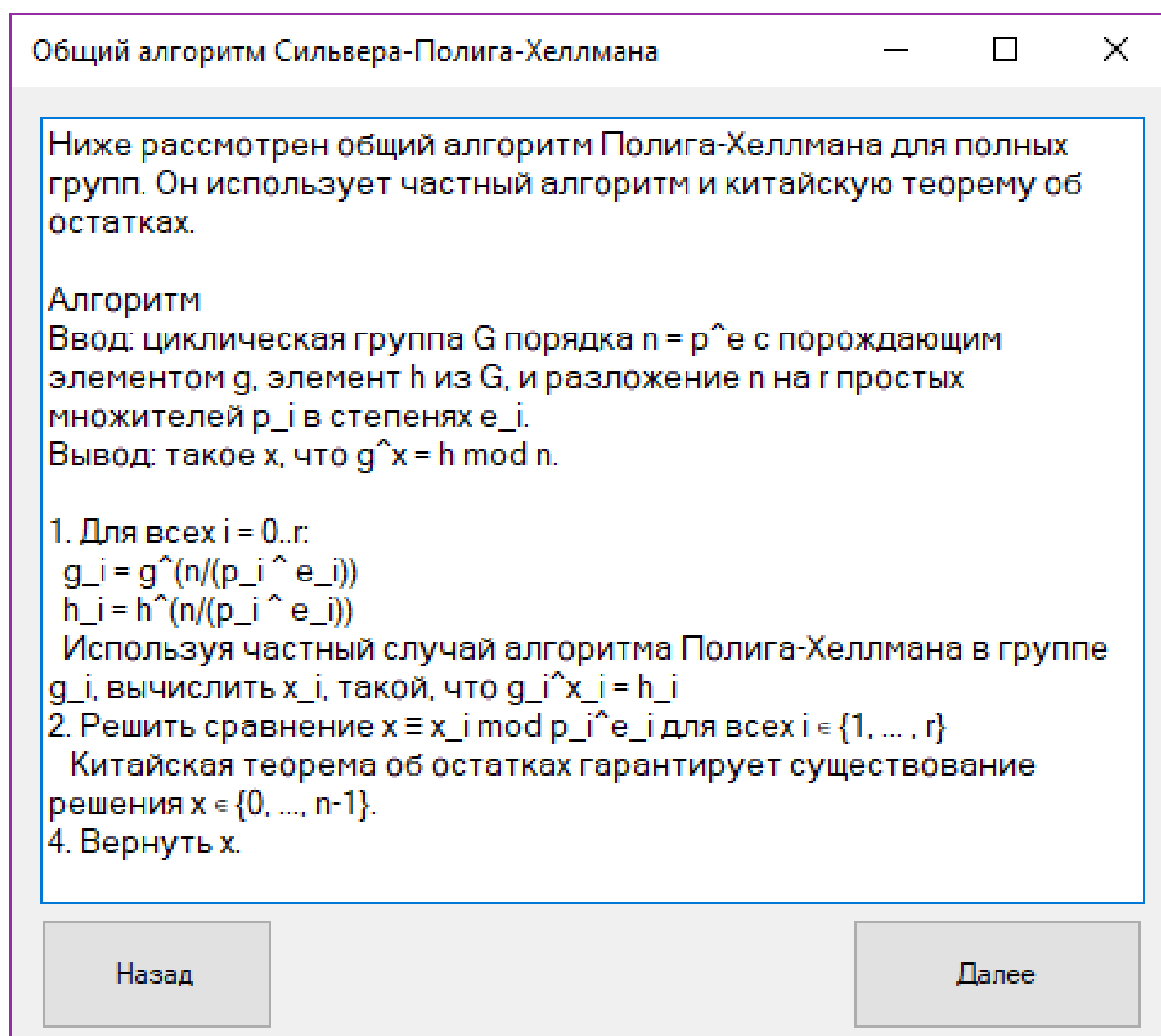


Рис. 37: Общий случай алгоритма Полига-Хеллмана

На третьем из этих шагов обучения демонстрируется псевдокод общего случая алгоритма Полига-Хеллмана, использующего рассмотренный выше частный алгоритм Сильвера-Полига-Хеллмана и китайскую теорему об остатках.

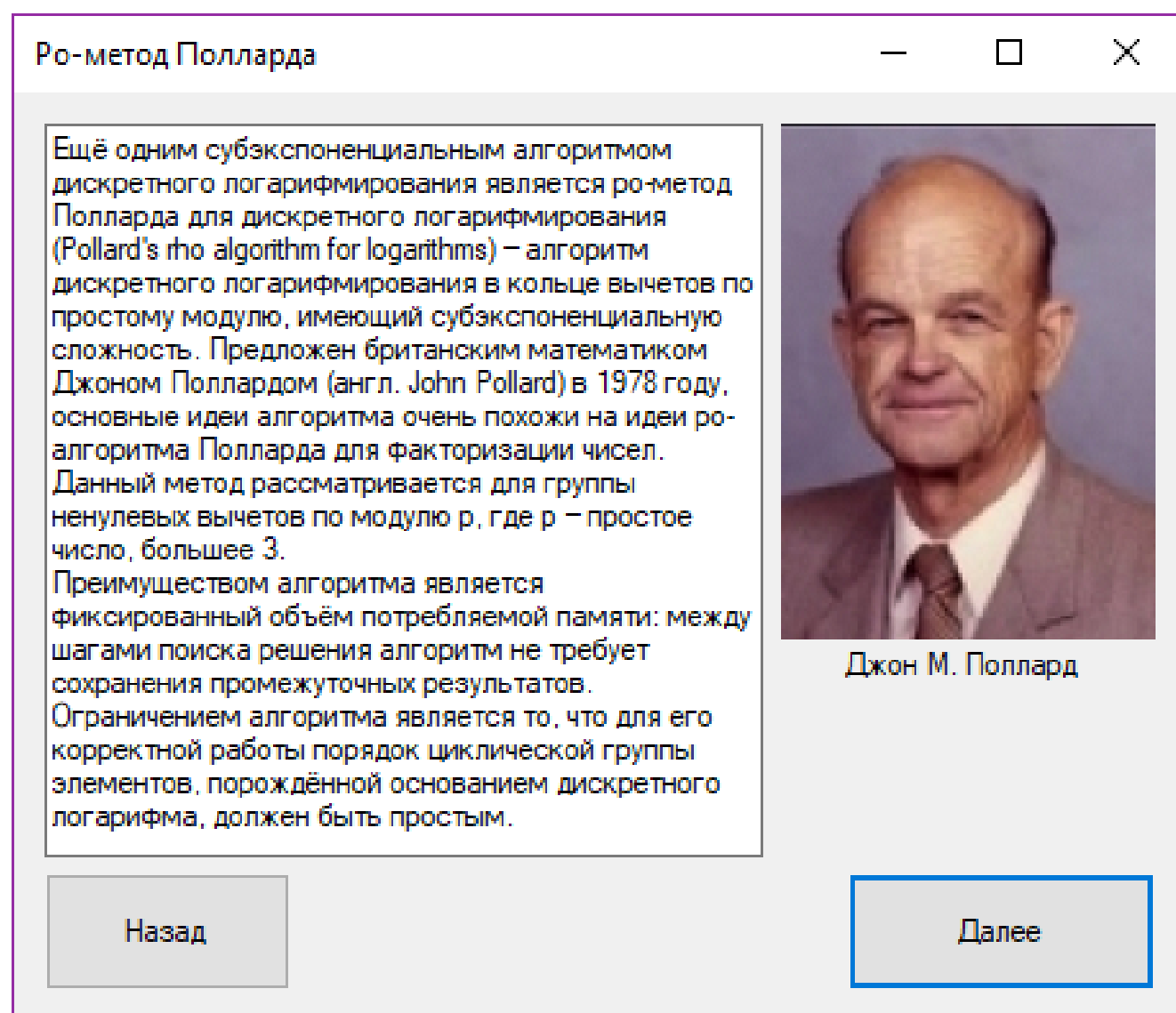


Рис. 38: Общая информация о  $\rho$ -методе Полларда

На следующем шаге обучения пользователь знакомится с общей информацией об ещё одном алгоритме дискретного логарифмирования -  $\rho$ -методе Полларда, его преимуществах и ограничениях.

На следующих пяти шагах пользователю предлагается пройти небольшое теоретическое по пройденным темам. Тестирование состоит из десяти вопросов с четырьмя вариантами ответов для каждого из них.

Тест, часть 1

Вопрос 1

Функция Эйлера  $\varphi(n)$  - мультипликативная арифметическая функция, равная...

- ☒ Количество целых неотрицательных чисел, меньших  $n$  и взаимно простых с ним
- ☐ Количество целых неотрицательных чисел, меньших или равных  $n$  и взаимно простых с ним
- ☐ Количество целых неотрицательных простых чисел, меньших  $n$
- ☐ Количество действительных чисел, меньших  $n$  и взаимно простых с ним

Вопрос 2

В модулярной арифметике число  $x$  называется величиной, обратной числу  $a$  по модулю  $m$ , если выполнено:

- ☐  $a = x \bmod m$
- ☐  $xm = 1 \bmod a$
- ☒  $ax \bmod m = 1$
- ☐  $am = 1 \bmod x$

Назад

Далее

Рис. 39: Тест, часть 1

Первая часть тестирования включает в себя вопросы, касающиеся определения функции Эйлера и определения обратного по модулю числа.

Тест, часть 2

Вопрос 3

Если известна функция Эйлера  $\phi(m)$ , то  $a^{-1} \bmod m$  может быть вычислено по формуле:

☐  $a * (\phi(m) - 1) \bmod m$

☐  $a^{\phi(m)} \bmod m$

☒  $a^{(\phi(m) - 1)} \bmod m$

☐  $a^{(\phi(m-1))} \bmod m$

Вопрос 4

Что представляет собой шифротекст в криптосистеме Эль-Гамала?

☐ Одно целое неотрицательное число

☒ Два целых неотрицательных числа

☐ Число с количеством десятичных разрядов, равным количеству букв в открытом тексте

☐ Число с количеством шестнадцатичных разрядов, равным количеству букв в открытом тексте

Назад

Далее

Рис. 40: Тест, часть 2

Вторая часть тестирования включает в себя два вопроса. Первый вопрос касается вычисления обратного числа по модулю с помощью функции Эйлера, второй вопрос касается вида шифротекста в криптосистеме Эль-Гамала.



Тест, часть 4

Вопрос 7

Какой вычислительной сложностью обладает алгоритм Гельфонда-Шенкса?

- ☐ Субэкспоненциальной
- ☐ Линейной
- ☐ Полиномиальной
- ☒ Экспоненциальной

Вопрос 8

Стойкость какого из следующих криптографических алгоритмов не основана на вычислительной сложности дискретного логарифма?

- ☐ ECDSA
- ☒ RSA
- ☐ Diffie-Hellman
- ☐ ГОСТ Р 34.10-2001

Назад

Далее

Рис. 42: Тест, часть 4

Седьмой вопрос посвящён вычислительной сложности алгоритма Гельфонда-Шенкса. Восьмой вопрос посвящён другим криптосистемам, основанным на криптографической стойкости дискретного логарифмирования.

Тест, часть 5

Вопрос 9

Какой из приведённых алгоритмов дискретного логарифмирования применим только для групп с порядком специального вида?

☐ Алгоритм Сильвера-Полига-Хеллмана

☒ Ро-метод Полларда

☐ Алгоритм Гельфонда-Шенкса

☐ Ни один

Вопрос 10

Какой из следующих алгоритмов дискретного логарифмирования обладает полиномиальной сложностью в общем случае?

☐ Алгоритм Сильвера-Полига-Хеллмана

☐ Ро-метод Полларда

☐ Алгоритм Гельфонда-Шенкса

☒ Ни один

Назад

Далее

Рис. 43: Тест, часть 5

Наконец, пятая часть теста посвящена границам применимости и вычислительной сложности алгоритмов дискретного логарифмирования.



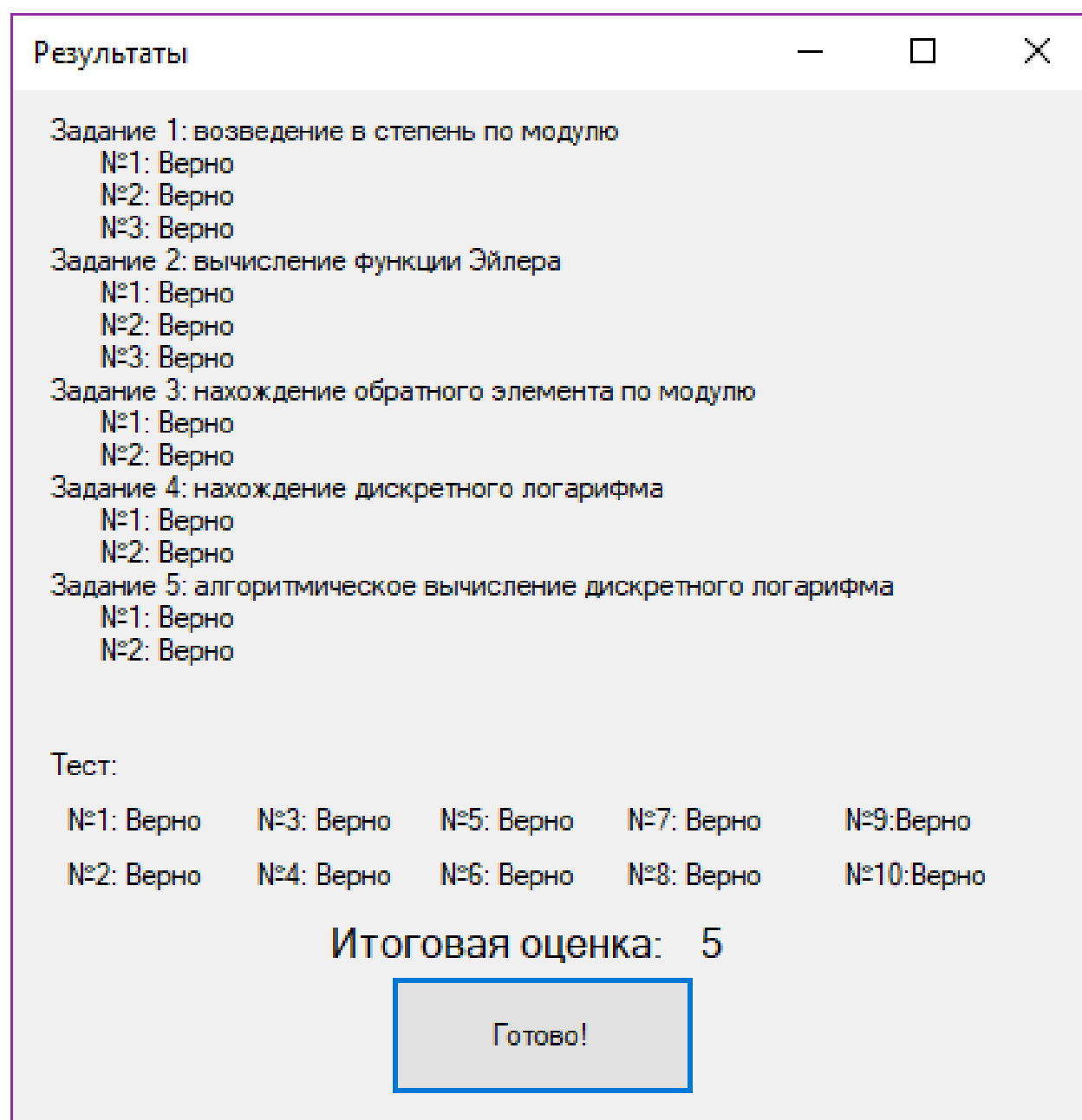


Рис. 44: Результаты проверки знаний

На завершающем шаге обучения показаны результаты выполненных заданий и ответов на вопросы теста, и пользователь получает оценку своих знаний.

## 5.6. Вызов и загрузка

Вызов программы осуществляется стандартными средствами системы Windows с установленной платформой Microsoft .NET Framework 4.5. Имя загрузочного модуля – ElgamalTutor.exe.

## 5.7. Входные и выходные данные

Входные данные – ответы на поставленные вопросы, выходные данные – результаты тестирования и примеры работы криптосистемы.

## 6. ОПИСАНИЕ СЦЕНАРИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

### 6.1. Постановка задачи

1. Ознакомиться с обучающей компьютерной программой El-Gamal\_Tutor.
2. Изучить и привести описание алгоритма Эль Гамала (в соответствии с обозначениями из [1]) с доказательством корректности алгоритма, его достоинствами и недостатками.
3. Зафиксировать (для отчета) последовательность этапов обучения в программе El-Gamal\_Tutor.
4. Провести тестирование программы El-Gamal\_Tutor с целью выявления ошибок и недочетов.
5. С помощью математического пакета прикладных программ произвести шифрование и расшифрование сообщения, заданного в виде одного блока открытого текста. При этом длина ключей должна удовлетворять условиям:  $|p|, |\delta| \geq 80$ ,  $|r|, |\alpha| \geq 40$ . Ключи описываются соотношениями:  $K = (p, \alpha, \beta, \delta) : \alpha^\delta \equiv \beta \pmod{p}$ , где  $K = (k_O; k_S)$ ;  $k_O = (p, \alpha, \beta)$  – открытый ключ;  $k_S = (\delta)$  – закрытый ключ.
6. Сформулировать и обосновать принципы работы алгоритма Эль Гамала.
7. Одним из методов решения задачи дискретного логарифмирования осуществить криптоанализ заданного шифрованного текста на основе известных составляющих открытого ключа  $(p, \alpha, \beta)$ .
8. Ответить на контрольные вопросы.
9. Составить и защитить отчет о проделанной работе.

## **6.2. Содержание отчета о выполнении лабораторной работы**

1. Постановка задачи
2. Описание криптосистемы Эль Гамала.
3. Последовательность этапов и результаты обучения с использованием программы El-Gamal\_Tutor.
4. Выявление ошибок и недочетов в обучающей программе El-Gamal\_Tutor.
5. Результаты шифрования и расшифрования с использованием ППП Maple.
6. Принципы работы алгоритма Эль Гамала.
7. Последовательность этапов и результаты криптоанализа.
8. Ответы на контрольные вопросы.
9. Выводы
10. Библиография

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практически в каждой коммерческой, военной и государственной отрасли требуется наличие системы, позволяющей шифровать данные, делая информацию, заложенную в эти данные, невозможной для воспроизведения обычным пользователем. Для получения нужных для этого кадров необходим эффективный процесс обучения специалистов в данной отрасли.

В обучении будущих специалистов в любой области немаловажную роль играет использование наглядных средств обучения, эксперимент (в том числе вычислительный) и проверка полученных знаний на практике. В современной образовательной системе успешно используются обучающие программы, лучшие из которых, как правило, сочетают в себе все эти три фактора. В настоящей работе был предложен вариант лабораторной работы по защите информации, специально для которой была разработана обучающая программа, проектировавшаяся в первую очередь исходя из всех вышеуказанных принципов.

Программа была представлена на нескольких научно-практических конференциях [10–13], лабораторная работа была представлена на двух научно-практических конференциях [12, 13]. В настоящее время осуществляется государственная регистрация программы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Воронков Б. Н. Криптографические методы защиты информации: учебное пособие / Б. Н. Воронков. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2008. – 59 с.
2. Схема Эль-Гамала / Википедия [текст]. – (URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Схема\\_Эль-Гамала](https://ru.wikipedia.org/wiki/Схема_Эль-Гамала)) (дата обращения 13.05.2018).
3. Дискретное логарифмирование / Википедия [текст]. – (URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Дискретное\\_логарифмирование](https://ru.wikipedia.org/wiki/Дискретное_логарифмирование)) (дата обращения 06.05.2018).
4. Вычисления, полезные в криптографии : Crypto03.exe, v. 10.11.03 [электронный ресурс]. – Ставрополь : КубГТУ, 2003.
5. Витер В. Обучающая программа El-Gamal. Версия 1.0 / В. Витер [электронный ресурс], 1999 г. – (vvvslava@hotmail.ru).
6. Воронков Б. Н. Обучающая компьютерная программа для изучения российского стандарта криптографического преобразования / Б. Н. Воронков, И. И. Проскурин // Современные информационные технологии и ИТ-образование. Сборник избранных трудов 6-ой международной НПК (г. Москва, 12 – 14 декабря 2011 г.). – М.: ИНТУИТ.РУ, 2011. – С. 121 – 127.
7. Кабанов Е. В. Программа обучения алгоритму шифрования DES / Е. В. Кабанов, М. В. Прокопов [электронный ресурс], 2001г. – (URL: <http://www.blackw.des.ru>, nexus@mail.ru) (дата обращения 28.09.2009).
8. Buchmann J., Jacobson M. J., Teske E. «On some computational problems in finite abelian groups». Mathematics of Computation, 1997, 220(66), 1663-1687.

9. Алгоритм Адлемана / Википедия [текст]. – (URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм\\_Адлемана](https://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_Адлемана)) (дата обращения 08.03.2018).
10. Ковун В. А. Электронная обучающая программа El-Gamal\_Tutor / В. А. Ковун, Б. Н. Воронков // Информатика: проблемы, методология, технологии: сборник материалов XVI международной научно-методической конференции, г. Воронеж, 11 – 12 февраля 2016 г. – Воронеж: Издательство «Научно-исследовательские публикации», 2016. – 3078 с. – Раздел 6. VII международная школа-конференция «Информатика в образовании». – С. 171 – 176.
11. Ковун В. А. Криптосистема Эль Гамала. Лабораторная работа / В. А. Ковун, Б. Н. Воронков // Информатика: проблемы, методология, технологии: сборник материалов XVII международной научно-методической конференции, г. Воронеж, 9 – 10 февраля 2017 г.: в 5-ти томах. – Воронеж: Издательство «Научно-исследовательские публикации», 2017. – Т. 5. Информатика в образовании: материалы VII Школы-конференции. Секция 6: «Применение информационных технологий в преподавании различных дисциплин». – С. 169 – 174.
12. Ковун В. А. Криптоанализ в обучающей программе El-Gamal\_Tutor / В. А. Ковун, Б. Н. Воронков // Информатика: проблемы, методология, технологии: сборник материалов XVIII международной научно-методической конференции, г. Воронеж, 8 – 9 февраля 2018 г.: в 7-ти томах. – Воронеж: Издательство «Научно-исследовательские публикации» (ООО «Вэлборн»), 2018. – Т. 7. – С. 194 – 198.
13. Ковун В. А. Алгоритм Эль Гамала. Лабораторная работа / В. А. Ковун, Б. Н. Воронков // Математика, информационные технологии, приложения: сборник трудов Межвузовской научной конференции молодых ученых и студентов, 23 апреля 2018 г. – Воронеж : Издательство «Научно-исследовательские публикации», 2018 – С. 46 – 60.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Текст программы “El-Gamal\_Tutor”.

Электронная обучающая программа для изучения асимметричной криптосистемы Эль-Гамала.

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class AboutForm : Form
    {
        public AboutForm()
        {
            InitializeComponent();
        }
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Numerics;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace ElgamalTutor
{
    static class Answers
    {
        public static int formToShow = 0;
        public static bool tutorialEnded = false;
        public static bool interruptTutorial = false;
    }
}
```

```

    public static BigInteger p = new BigInteger(0);
    public static BigInteger g = new BigInteger(0);
    public static BigInteger x = new BigInteger(0);
    public static BigInteger y = new BigInteger(0);
    //public static BigInteger k = new BigInteger(0);
    public static BigInteger a = new BigInteger(0);
    public static BigInteger b = new BigInteger(0);

    public static bool[] modpowAnswers = new bool[3];
    public static bool[] EulerAnswers = new bool[3];
    public static bool[] ReverseAnswers = new bool[2];
    public static bool[] DiscreteLogAnswers = new bool[2];
    public static bool[] AlgorithmicDLOGAnswers = new bool[2];
    public static bool[] TestAnswers = new bool[10];
}
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Numerics;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    static class BabyStepGiantStep
    {
        public static BigInteger sqrt(BigInteger n)
        {
            if (n == 0) return 0;
            if (n > 0)
            {
                int bitLength = Convert.ToInt32(Math.Ceiling(BigInteger.
                    Log(n, 2)));
                BigInteger root = BigInteger.One << (bitLength / 2);
            }
        }
    }
}

```



```

        while (!isSqrt(n, root))
        {
            root += n / root;
            root /= 2;
        }

        return root;
    }

    throw new ArithmeticException("NaN");
}

private static Boolean isSqrt(BigInteger n, BigInteger root)
{
    BigInteger lowerBound = root * root;
    BigInteger upperBound = (root + 1) * (root + 1);

    return (n >= lowerBound && n < upperBound);
}

public static BigInteger bsgs(BigInteger a, BigInteger b,
    BigInteger m)
{
    if (a == b)
        return 1;

    var map = new Dictionary<BigInteger, BigInteger>();
    BigInteger ans, n, i;
    ans = 1;

    n = sqrt(m) + 1; // 1

    for (i = n; i >= 1; --i) // 3
    {
        BigInteger curKey = BigInteger.ModPow(a, i * n, m);
        if (!(map.ContainsKey(curKey)))
            map.Add(curKey, i);
        else
            map[curKey] = i;
    }

```

```

    }

    for (i = 0; i <= n; ++i) // 4
    {
        BigInteger cur = (BigInteger.ModPow(a, i, m) * b) % m;
        if (map.ContainsKey(cur))
        {
            ans = map[cur] * n - i;
            if (ans < m) return ans;
        }
    }

    return -1;
}

public static BigInteger bsgs2(BigInteger a, BigInteger b,
    BigInteger m, ProgressBar progress = null)
{
    if (a == b)
        return 1;

    var map = new Dictionary<BigInteger, BigInteger>();
    BigInteger ans, n, i, an, curKey;
    ans = 1;
    an = 1;

    n = sqrt(m) + 1; // 1
    an = BigInteger.ModPow(a, n, m);
    //for (i = 0; i < n; ++i)
    //  an = (an * a) % m;

    BigInteger tick = n / 50; // for progressbar
    if (tick == 0)
        tick = 1;
    // int progressQuantum = (progress.Width / 100);

    for (i = 1, curKey = an; i <= n; ++i) // 3
    {
        if (!(map.ContainsKey(curKey)))

```

```

        map.Add(curKey, i);
        curKey = (curKey * an) % m;

        if (progress != null) // progressbar
            if (i % tick == 0) // progressbar!
                progress.Increment(progress.Width / 100); //
    }

    for (i = 0, curKey = b; i <= n; ++i) // 4
    {
        if (map.ContainsKey(curKey))
        {
            ans = map[curKey] * n - i;
            if (ans < m) return ans;
        }
        curKey = (curKey * a) % m;

        if (progress != null) // progressbar
            if (i % tick == 0) // progressbar!
                progress.Increment(progress.Width / 100); //
    }

    return -1;
}

}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Numerics;

namespace ElgamalTutor
{
    static class BigIntegerSqrt
    {

```

```

private static BigInteger modulo = BigInteger.Pow(BigInteger.
    Parse("100000000000000000000000000000000"), 10000);

public static BigInteger Sqrt(this BigInteger n)
{
    if (n == 0) return 0;
    if (n > 0)
    {
        int bitLength = Convert.ToInt32(Math.Ceiling(BigInteger.
            Log(n, 2)));
        BigInteger root = BigInteger.One << (bitLength / 2);

        while (!isSqrt(n, root))
        {
            root += n / root;
            root /= 2;
        }

        return root;
    }

    throw new ArithmeticException("NaN");
}

private static Boolean isSqrt(BigInteger n, BigInteger root)
{
    BigInteger lowerBound = root * root;
    BigInteger upperBound = (root + 1) * (root + 1);

    return (n >= lowerBound && n < upperBound);
}

public static BigInteger Power(this BigInteger n, BigInteger
    exponent)
{
    // return BigInteger.Pow(n, (int)exponent);
    return BigInteger.ModPow(n, exponent, modulo);
}
}

```

```

}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Numerics;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class CalcfiForm : Form
    {
        BigInteger input = new BigInteger(0);
        public CalcfiForm()
        {
            InitializeComponent();

            private void calcBtn_Click(object sender, EventArgs e)
            {
                this.Enabled = false;
                input = BigInteger.Parse(inputBox.Text);
                input = CryptoMath.phi(input);
                outputBox.Text = input.ToString();
                label2.Visible = true;
                outputBox.Visible = true;
                this.Enabled = true;
            }

            private void inputBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
            {
                label2.Visible = false;
                outputBox.Visible = false;
            }
        }
    }
}

```

```

}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Numerics;

namespace ElgamalTutor
{
    class CryptoMath
    {
        public static Random rand = new Random();
        public static int MILLER_RABIN_ROUNDS = 4000;
        public const long DIGITS = 20;

        public static BigInteger phi(BigInteger n)
        {
            BigInteger result = n;
            BigInteger i = new BigInteger(2);
            for (i = 2; i * i <= n; ++i)
                if (n % i == 0)
                {
                    while (n % i == 0)
                        n /= i;
                    result -= result / i;
                }
            if (n > 1)
                result -= result / n;
            return result;
        }

        //public static BigInteger powmod(BigInteger a, BigInteger b,
        //    BigInteger m)
        //{

```

```

// BigInteger r=1;
// a%=m;
// while (b>0)
// {
//     if (b%2 ==1) r=(r*a)%m;
//     a=(a*a)%m;
//     b>>=1;
// }
// return r;
//}

```

```

public static bool isPrime(BigInteger n)
{
    if (n == 2 || n == 3 || n == 5 || n == 7)
        return true;
    if ((n % 60) % 5 == 0)
        return false;
    if ((n % 60) % 3 == 0)
        return false;
    if ((n % 60) % 2 == 0)
        return false;
    //тест Миллера-Рабина
    //сначала представим m-1 в виде m-1 = 2^s * t
    BigInteger m = n-1;
    BigInteger s = 0;
    BigInteger t = 1;
    while(m/2 > 0 && m%2 == 0)
    {
        m /= 2;
        s++;
    }
    t = m;
    m = n;
    for (BigInteger i = 0; i < MILLER_RABIN_ROUNDS; i++) //
        максимальное i неплохо бы там log_2(m)
    {
        BigInteger a = rand.Next()%(m-3) + 3;
        BigInteger x = BigInteger.ModPow(a,t,m);
    }
}

```

```

        if (x == 1 || x == m-1) continue;
        for (BigInteger j = 0; j < s-1; j++)
        {
            x = BigInteger.ModPow(x, 2, m);
            if (x == m-1) break;
            if (x == 1) return false;
        }
        if (x==m-1) continue;
        return false;
    }
    return true;
}

public static BigInteger calculatePrimitiveRoot(BigInteger p)
    /*!вычислялка первообразного корня по модулю p.
    {
        List<BigInteger> fact = new List<BigInteger>();
        BigInteger phi = p-1, n = phi;
        for (BigInteger i=2; i*i<=n; ++i)
            if (n % i == 0) {
                fact.Add(i);
                while (n % i == 0)
                    n /= i;
            }
        if (n > 1)
            fact.Add(n);
        for (BigInteger res=2; res<=p; ++res)
        {
            bool ok = true;
            for (int i=0; i<fact.Count && ok; ++i)
                ok &= BigInteger.ModPow(res, phi /
                    fact[i], p) != 1;
            if (ok) return res;
        }
        return -1;
    }

public static BigInteger calculateFakePrimitiveRoot(
    BigInteger p) /*!вычислялка первообразного корня по модулю

```



```

        p.
    {
        List<BigInteger> fact = new List<BigInteger>();
        BigInteger phi = p - 1, n = phi;
        for (BigInteger i = 2; i * i * i * i <= n; ++i)
            if (n % i == 0)
            {
                fact.Add(i);
                while (n % i == 0)
                    n /= i;
            }
        if (n > 1)
            fact.Add(n);
        for (BigInteger res = 2; res <= p; ++res)
        {
            bool ok = true;
            for (int i = 0; i < fact.Count && ok; ++i)
                ok &= BigInteger.ModPow(res, phi / fact[i], p) != 1;
            if (ok) return res;
        }
        return -1;
    }

    public static BigInteger genSimpleRand(long decDigits/*=
        DIGITS*/)
    {
        BigInteger a = new BigInteger(0);
        BigInteger pow = 1;
        while (!isPrime(a))
        {
            a = 0;
            pow = 1;
            for (long i = 0; i < decDigits; i++)
            {
                BigInteger rnd = (rand.Next(8)+1) * pow;
                a += rnd;
                pow *= 10;
            }
        }
        return a;
    }

```

```

    }

    public static BigInteger genRand(long decDigits/* = DIGITS*/)
    {
        BigInteger a = new BigInteger(0);
        BigInteger pow = 1;
        a = 0;
        pow = 1;
        for (long i = 0; i < decDigits; i++)
        {
            BigInteger rnd = rand.Next(10) * pow;
            a += rnd;
            pow *= 10;
        }
        return a;
    }
}
}
}

```

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Numerics;

```

```

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class DecryptForm : Form
    {
        private BigInteger p = new BigInteger(0);
        private BigInteger g = new BigInteger(0);
        private BigInteger x = new BigInteger(0);
        private BigInteger y = new BigInteger(0);
        private BigInteger a = new BigInteger(0);
        private BigInteger b = new BigInteger(0);
    }
}

```

```

private BigInteger M = new BigInteger(0);
private long digits = 10;
public DecryptForm()
{
    InitializeComponent();
    digitsBox.Text = digits.ToString();
}

private void genpgBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    string pstr;
    switch (digitsBox.Text)
    {
        case "p40":
            pstr = "7524548124131735373612526345481757634861";
            BigInteger.TryParse(pstr, out p);
            g = 7;
            break;
        case "p41":
            pstr = "61571157514825784611687343327637886854113";
            BigInteger.TryParse(pstr, out p);
            g = 3;
            break;
        default:
            p = CryptoMath.genSimpleRand(digits);
            g = CryptoMath.calculateFakePrimitiveRoot(p);
            break;
    }
    pBox.Text = p.ToString();
    gBox.Text = g.ToString();
}

private void genxBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (p > 2)
        do
            x = CryptoMath.genRand(digits);
        while (x == 0 || x >= p);
    xBox.Text = x.ToString();
}

```

```

private void genyBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (p > 2)
        y = BigInteger.ModPow(g, x, p);
    yBox.Text = y.ToString();
}

private void decryptBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Encoding encoding = Encoding.GetEncoding(1251);
    BigInteger apx = BigInteger.ModPow(a, x, p);
    apx = BigInteger.ModPow(apx, p - 2, p);
    M = (b * apx) % p;
    byte[] textBytes = M.ToByteArray();
    MBox.Text = encoding.GetString(textBytes);
}

private void digitsBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    int i;
    if (int.TryParse(digitsBox.Text, out i) && i >= 0)
        digits = i;
}

private void pBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    BigInteger.TryParse(pBox.Text, out p);
}

private void gBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    BigInteger.TryParse(gBox.Text, out g);
}

private void xBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    BigInteger.TryParse(xBox.Text, out x);
}

```

```

        private void yBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
        {
            BigInteger.TryParse(yBox.Text, out y);
        }

        private void aBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
        {
            BigInteger.TryParse(aBox.Text, out a);
        }

        private void bBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
        {
            BigInteger.TryParse(bBox.Text, out b);
        }
    }

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Numerics;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class DiscreteLogAlgorithmsInfoForm : Form
    {
        static Random r = new Random();
        static BigInteger base1, base2, num1, num2, mod1, mod2, ans1,
            ans2;

        private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Answers.interruptTutorial = false;
        }
    }
}

```

```

        Answers.formToShow -= 2;
        this.Close();
    }

    public DiscreteLogAlgorithmsInfoForm()
    {
        InitializeComponent();
        textBox1.Select(0, 0);
        // textBox2.Select(0, 0);
        base1 = new BigInteger(r.Next(100000) + 2);
        base2 = new BigInteger(r.Next(100000) + 2);
        mod1 = CryptoMath.genSimpleRand(8);
        if (mod1 == base1) mod1++;
        mod2 = CryptoMath.genSimpleRand(8);
        if (mod2 == base2) mod2++;
        BigInteger rnd1 = CryptoMath.genRand(100000);
        BigInteger rnd2 = CryptoMath.genRand(100000);
        num1 = BigInteger.ModPow(base1, rnd1, mod1);
        num2 = BigInteger.ModPow(base2, rnd2, mod2);
        Task1Label.Text =
            base1.ToString() + "^x  = " + num1.ToString() + " mod " +
            mod1.ToString();
        Task2Label.Text =
            base2.ToString() + "^x  = " + num2.ToString() + " mod " +
            mod2.ToString();
    }

    private void DiscreteLogAlgorithmsInfoForm_Load(object sender
        , EventArgs e)
    {

    }

    private void nextBtn_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        if (BigInteger.TryParse(AnswerBox1.Text, out ans1) &&
            BigInteger.TryParse(AnswerBox2.Text, out ans2))
        {
            Answers.AlgorithmicDLOGAnswers[0] = (num1 == BigInteger.
                ModPow(base1, ans1, mod1));
        }
    }

```

```

        Answers.AlgorithmicDLOGAnswers[1] = (num2 == BigInteger.
            ModPow(base2, ans2, mod2));
        //var newForm = new TutorForm3();
        //newForm.Show();
        Answers.interruptTutorial = false;
        this.Close();
    }
}
}
}

```

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Numerics;

```

```

namespace ElgamalTutor

```

```

{
    public partial class DiscreteLogarithmCalculationForm : Form
    {
        public DiscreteLogarithmCalculationForm()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void DoMagicBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            BSGSProgressBar.Value = 0;
            BigInteger a, b, m, answer;
            a = 0;
            b = 0;
            m = 0;
            answer = 0;
        }
    }
}

```

```

ResultLabel.Visible = false;
ResultLabel.ForeColor = Color.Red;

BigInteger.TryParse(ABox.Text, out a);
BigInteger.TryParse(BBox.Text, out b);
BigInteger.TryParse(MBox.Text, out m);

if (a < 2 || b < 0 || m < 3 || b > m)
    ResultLabel.Text = "Неправильный ввод данных";
else if (!(CryptoMath.isPrime(m)))
    ResultLabel.Text = "М должно быть простым";
else
{
    if (m.ToString().Length > 10)
    {
        ResultLabel.Text = "Слишком большое М - \nВозможна
            нехватка памяти";
        ResultLabel.Visible = true;
    }
    try
    {
        BSGSProgressBar.Visible = true;
        this.Enabled = false;
        answer = BabyStepGiantStep.bsgs2(a, b, m,
            BSGSProgressBar);
    }
    catch (OutOfMemoryException)
    {
        ResultLabel.Text = "Нехватка оперативной памяти";
        ResultLabel.Visible = true;
        this.Enabled = true;
        return;
    }
    if (answer == -1)
        ResultLabel.Text = "Такого X не найдено";
    else
    {
        ResultLabel.ForeColor = Color.Green;
        ResultLabel.Text = $"X = {answer}";
        if (BigInteger.ModPow(a, answer, m) != b)

```



```

        ResultLabel.Text += "?";
    }
}
BSGSProgressBar.Visible = false;
ResultLabel.Visible = true;
this.Enabled = true;
}

private void PohligButton_Click(object sender, EventArgs e)
{
    BSGSProgressBar.Value = 0;
    BigInteger a, b, m, answer;
    a = 0;
    b = 0;
    m = 0;
    answer = 0;

    ResultLabel.Visible = false;
    ResultLabel.ForeColor = Color.Red;

    BigInteger.TryParse(ABox.Text, out a);
    BigInteger.TryParse(BBox.Text, out b);
    BigInteger.TryParse(MBox.Text, out m);

    if (a < 2 || b < 0 || m < 3 || b > m)
        ResultLabel.Text = "Неправильный ввод данных";
    else if (!(CryptoMath.isPrime(m)))
        ResultLabel.Text = "М должно быть простым";
    else
    {
        if (m.ToString().Length > 5)
        {
            ResultLabel.Text = "Слишком большое М - \nВозможно  
крайне долгое время работы";
            ResultLabel.Visible = true;
        }
        try
        {
            BSGSProgressBar.Visible = true;
            this.Enabled = false;

```

```

        answer = SilverPohligHellman.PohligHellman(a, b, m,
            BSGSProgressBar);
    }
    catch (OutOfMemoryException)
    {
        ResultLabel.Text = "Нехватка оперативной памяти";
        ResultLabel.Visible = true;
        this.Enabled = true;
        return;
    }
    if (answer == -1)
        ResultLabel.Text = "Такого X не найдено";
    else
    {
        ResultLabel.ForeColor = Color.Green;
        ResultLabel.Text = $"X = {answer}";

        if (BigInteger.ModPow(a, answer, m) != b)
        {
            ResultLabel.ForeColor = Color.Red;
            ResultLabel.Text = "Такого X не найдено";
        }
        // ResultLabel.Text += "?";
    }
}
BSGSProgressBar.Visible = false;
ResultLabel.Visible = true;
this.Enabled = true;
}

private void RhoButton_Click(object sender, EventArgs e)
{
    BSGSProgressBar.Value = 0;
    BigInteger a, b, m, answer;
    a = 0;
    b = 0;
    m = 0;
    answer = 0;

    ResultLabel.Visible = false;

```

```

ResultLabel.ForeColor = Color.Red;

BigInteger.TryParse(ABox.Text, out a);
BigInteger.TryParse(BBox.Text, out b);
BigInteger.TryParse(MBox.Text, out m);

if (a < 2 || b < 0 || m < 3 || b > m)
    ResultLabel.Text = "Неправильный ввод данных";
else if (!(CryptoMath.IsPrime(m)))
    ResultLabel.Text = "М должно быть простым";
else if (!(CryptoMath.IsPrime((m - 1) / 2)))
    ResultLabel.Text = "Порядок группы М должен быть простым
        ";
else
{
    if (m.ToString().Length > 5)
    {
        ResultLabel.Text = "Слишком большое М - \nВозможно
            долгое время работы";
        ResultLabel.Visible = true;
    }
    try
    {
        BSGSProgressBar.Visible = true;
        this.Enabled = false;
        answer = Pollards_Rho.Pollard(a, b, m, BSGSProgressBar)
            ;
    }
    catch (OutOfMemoryException)
    {
        ResultLabel.Text = "Нехватка оперативной памяти";
        ResultLabel.Visible = true;
        this.Enabled = true;
        return;
    }
    if (answer == -1)
        ResultLabel.Text = "Такого X не найдено";
    else
    {
        ResultLabel.ForeColor = Color.Green;
    }
}

```

```

        ResultLabel.Text = $"X = {answer}";

        if (BigInteger.ModPow(a, answer, m) != b)
        {
            ResultLabel.ForeColor = Color.Red;
            ResultLabel.Text = "Такого X не найдено";
        }
        //ResultLabel.Text += "?";
    }
}
BSGSProgressBar.Visible = false;
ResultLabel.Visible = true;
this.Enabled = true;
}

private void RandomDataButton_Click(object sender, EventArgs
    e)
{
    Random rand = new Random();
    int size = rand.Next(11) + 2;
    BigInteger M = 0;
    while (!CryptoMath.isPrime((M-1)/2))
        M = CryptoMath.genSimpleRand(size);
    MBox.Text = M.ToString();
    ABox.Text = (CryptoMath.genRand(rand.Next(size - 1) + 1)+2)
        .ToString();
    BBox.Text = (CryptoMath.genRand(rand.Next(size - 1) + 1)).
        ToString();
}
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Numerics;
using System.Text;

```

```

using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class DiscrLogTutor : Form
    {
        static Random r = new Random();
        static BigInteger base1, base2, num1, num2, mod1, mod2, ans1,
            ans2;
        public DiscrLogTutor()
        {
            InitializeComponent();
            textBox1.Select(0, 0);
            textBox2.Select(0, 0);
            base1 = new BigInteger(r.Next(3)+2);
            base2 = new BigInteger(r.Next(4)+2);
            mod1 = base1;
            mod2 = base2;
            BigInteger rnd1 = new BigInteger(r.Next(5) + 3);
            BigInteger rnd2 = new BigInteger(r.Next(7) + 3);
            num1 = BigInteger.ModPow(base1, rnd1, mod1);
            num2 = BigInteger.ModPow(base2, rnd2, mod2);

            while (mod1 <= base1 || num1 == base1 || num1 == base1*
                base1 || num1 == 0)
            {
                mod1 = new BigInteger(r.Next(5) + 2);
                rnd1 = new BigInteger(r.Next(5) + 3);
                num1 = BigInteger.ModPow(base1, rnd1, mod1);
            }
            while (mod2 <= base2 || num2 == base2 || num2 == base2 *
                base2 || num2 == 0)
            {
                mod2 = new BigInteger(r.Next(7) + 2);
                rnd2 = new BigInteger(r.Next(5) + 3);
                num2 = BigInteger.ModPow(base1, rnd2, mod2);
            }

            Task1Label.Text =

```

```

        "Попробуйте найти логарифм по основанию " + base1.
        ToString() + " и модулю " + mod1.ToString() + " от
        числа " + num1.ToString() + ":";
Task2Label.Text =
    "Логарифм по основанию " + base2.ToString() + " и модулю
    " + mod2.ToString() + " от числа " + num2.ToString() +
    ":";
    }

private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Answers.interruptTutorial = false;
    Answers.formToShow -= 2;
    this.Close();
}

private void nextBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (BigInteger.TryParse(AnswerBox1.Text, out ans1) &&
        BigInteger.TryParse(AnswerBox2.Text, out ans2))
    {
        Answers.DiscreteLogAnswers[0] = (num1 == BigInteger.
            ModPow(base1, ans1, mod1));
        Answers.DiscreteLogAnswers[1] = (num2 == BigInteger.
            ModPow(base2, ans2, mod2));
        //var newForm = new TutorForm3();
        //newForm.Show();
        Answers.interruptTutorial = false;
        this.Close();
    }
}

}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;

```

```

using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class ElGamalInfoForm : Form
    {
        public ElGamalInfoForm()
        {
            InitializeComponent();
            textBox1.Select(0, 0);
        }

        private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Answers.interruptTutorial = false;
            Answers.formToShow -= 2;
            this.Close();
        }

        private void endBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Answers.interruptTutorial = false;
            this.Close();
        }
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Numerics;

```

```

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class EncryptForm : Form
    {
        private BigInteger p = new BigInteger(0);
        private BigInteger g = new BigInteger(0);
        private BigInteger y = new BigInteger(0);
        private BigInteger k = new BigInteger(0);
        private BigInteger a = new BigInteger(0);
        private BigInteger b = new BigInteger(0);
        private BigInteger M = new BigInteger(0);
        public EncryptForm()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void EncryptBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            if (M < p)
            {
                a = BigInteger.ModPow(g, k, p);
                aBox.Text = a.ToString();
                b = BigInteger.ModPow(y, k, p);
                b *= M;
                b %= p;
                bBox.Text = b.ToString();
            }
        }

        private void pBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
        {
            BigInteger.TryParse(pBox.Text, out p);
        }

        private void gBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
        {
            BigInteger.TryParse(gBox.Text, out g);
        }

        private void kBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)

```



```

    {
        BigInteger.TryParse(kBox.Text, out k);
        if (k > p - 1) k = 0;
    }

private void MBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    Encoding encoding = Encoding.GetEncoding(1251);
    byte[] converted = encoding.GetBytes(MBox.Text + (char)0);
    M = new BigInteger(converted);
    if (M > p)
        ERRORLabel.Visible = true;
    else
        ERRORLabel.Visible = false;
}

private void genkBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    // matan.DIGITS = 10;
    do
    {
        k = CryptoMath.genRand(10);
    } while (k > p - 1);
    kBox.Text = k.ToString();
}

private void yBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    BigInteger.TryParse(yBox.Text, out y);
}

}

}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;

```

```

using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class GelfondShanksAlgorithmForm : Form
    {
        public GelfondShanksAlgorithmForm()
        {
            InitializeComponent();
            textBox1.Select(0, 0);
        }

        private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Answers.interruptTutorial = false;
            Answers.formToShow -= 2;
            this.Close();
        }

        private void endBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Answers.interruptTutorial = false;
            this.Close();
        }
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor

```

```

{
    public partial class GelfondShanksInfoForm : Form
    {
        public GelfondShanksInfoForm()
        {
            InitializeComponent();
            textBox1.Select(0, 0);
        }

        private void endBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Answers.interruptTutorial = false;
            this.Close();
        }

        private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Answers.interruptTutorial = false;
            Answers.formToShow -= 2;
            this.Close();
        }
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class GelfondShanksTheoryForm : Form
    {
        public GelfondShanksTheoryForm()
        {

```

```

        InitializeComponent();
        textBox1.Select(0, 0);
    }

    private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        Answers.interruptTutorial = false;
        Answers.formToShow -= 2;
        this.Close();
    }

    private void endBtn_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        Answers.interruptTutorial = false;
        this.Close();
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class MainMenuForm : Form
    {
        public MainMenuForm()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void startTutorBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {

```

```

Answers.interruptTutorial = false;
Answers.formToShow = 0;
var formList = new List<Form>();

formList.Add(new TutorIntroForm());
formList.Add(new TutorForm1());
formList.Add(new TutorForm2());
formList.Add(new TutorForm3());
formList.Add(new ElGamalInfoForm());
formList.Add(new TutorForm4());
formList.Add(new TutorForm5());
formList.Add(new TutorForm6());
formList.Add(new TutorForm7());
formList.Add(new DiscrLogTutor());
formList.Add(new DiscreteLogAlgorithmsInfoForm());
formList.Add(new GelfondShanksInfoForm());
formList.Add(new GelfondShanksTheoryForm());
formList.Add(new GelfondShanksAlgorithmForm());
formList.Add(new SPHInfoForm());
formList.Add(new SPHParticularAlgorithmForm());
formList.Add(new SPHFullAlgorithmForm());
formList.Add(new RhoInfoForm());
formList.Add(new TestQuestionsForm1());
formList.Add(new TestQuestionsForm2());
formList.Add(new TestQuestionsForm3());
formList.Add(new TestQuestionsForm4());
formList.Add(new TestQuestionsForm5());
formList.Add(new TutorResults());

while (!Answers.tutorialEnded && !Answers.interruptTutorial
    )
{
    Answers.interruptTutorial = true;
    if (Answers.formToShow >= formList.Count)
        break;
    formList[Answers.formToShow].ShowDialog();
    Answers.formToShow++;
}
//this.Close();
}

```

```

private void MainMenuForm_Load(object sender, EventArgs e)
{

}

private void fiBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    var newForm = new CalcfiForm();
    newForm.ShowDialog();
}

private void primitBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    var newForm = new PrimitiveRootForm();
    newForm.ShowDialog();
}

private void genKeysBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    var newForm = new DecryptForm();
    newForm.ShowDialog();
}

private void decryptBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    var newForm = new EncryptForm();
    newForm.ShowDialog();
}

private void primeTestBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    var newForm = new PrimeTestForm();
    newForm.ShowDialog();
}

private void modPowBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    var newForm = new modPowForm();
    newForm.ShowDialog();
}

```

```

    }

    private void AboutBtn_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        var newForm = new AboutForm();
        newForm.ShowDialog();
    }

    private void BSGSBtn_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        var newForm = new DiscreteLogarithmCalculationForm();
        newForm.ShowDialog();
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Numerics;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class modPowForm : Form
    {
        BigInteger X = new BigInteger(0);
        BigInteger Y = new BigInteger(0);
        BigInteger M = new BigInteger(0);
        public modPowForm()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void modPowBtn_Click(object sender, EventArgs e)

```

```

    {
        BigInteger.TryParse(XBox.Text, out X);
        BigInteger.TryParse(YBox.Text, out Y);
        BigInteger.TryParse(MBox.Text, out M);
        if (X*Y*M > 0)
        {
            BigInteger result;
            result = BigInteger.ModPow(X, Y, M);
            modPowBox.Text = result.ToString();
        }
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Numerics;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    class Pollards_Rho
    {
        static BigInteger[] ext_euclid(BigInteger a, BigInteger b)
        {
            if (b == 0)
            {
                return new BigInteger[] { a, 1, 0 };
            }
            else
            {
                BigInteger[] arr_results = ext_euclid(b, a % b);
                BigInteger d = arr_results[0];
                BigInteger xx = arr_results[1];
                BigInteger yy = arr_results[2];
                BigInteger x = yy;
                BigInteger y = xx - (a / b) * yy;
            }
        }
    }
}

```



```

        return new BigInteger[] { d, x, y };
    }
}

static BigInteger inverse(BigInteger a, BigInteger n)
{
    return ext_euclid(a, n)[1];
}

static BigInteger[] PollardStep(BigInteger x, BigInteger a,
    BigInteger b, BigInteger G, BigInteger H, BigInteger P,
    BigInteger Q)
{
    BigInteger sub = x % 3;
    if (sub == 0)
    {
        x = x * G % P;
        a = (a + 1) % Q;
    }

    if (sub == 1)
    {
        x = x * H % P;
        b = (b + 1) % Q;
    }

    if (sub == 2)
    {
        x = x * x % P;
        a = a * 2 % Q;
        b = b * 2 % Q;
    }
    return new BigInteger[] { x, a, b };
}

public static BigInteger Pollard(BigInteger G, BigInteger H,
    BigInteger P, ProgressBar progress = null)
{
    BigInteger Q = (P - 1) / 2;
    // Console.WriteLine($"Q = {Q}");

```

```

BigInteger x = G * H;
BigInteger a = 1;
BigInteger b = 1;

BigInteger X = x;
BigInteger A = a;
BigInteger B = b;

progress.Increment(progress.Width / 10);

BigInteger tick = P / 20; // for progressbar
if (tick == 0)
    tick = 1;

for (BigInteger i = 1; i < P; i++)
{
    if (progress != null) // progressbar
        if (i % tick == 0) // progressbar!
        {
            progress.Increment(progress.Width / 20); //
            progress.Update();
            progress.Refresh();
            progress.Invalidate();
        }

    BigInteger[] hedgehog = PollardStep(x, a, b, G, H, P, Q);
    x = hedgehog[0];
    a = hedgehog[1];
    b = hedgehog[2];

    BigInteger[] rabbit = PollardStep(X, A, B, G, H, P, Q);
    X = rabbit[0];
    A = rabbit[1];
    B = rabbit[2];
    rabbit = PollardStep(X, A, B, G, H, P, Q);
    X = rabbit[0];
    A = rabbit[1];
    B = rabbit[2];
}

```

```

        if (x == X)
        {
            break;
        }
    }

    BigInteger nom = a - A;
    BigInteger denom = B - b;
    BigInteger res = (inverse(denom, Q) * nom) % Q;
    if (res >= 0 && BigInteger.ModPow(G, res, P) == H)
        return res;
    else if (BigInteger.ModPow(G, res + Q, P) == H)
        return res + Q;
    else
        return -1;
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Numerics;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class PrimeTestForm : Form
    {
        public PrimeTestForm()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void testBtn_Click(object sender, EventArgs e)

```

```

    {
        this.Enabled = false;
        ansLabel.Visible = false;
        BigInteger testInt;
        BigInteger.TryParse(inputBox.Text, out testInt);
        if (testInt > 0)
        {
            if (CryptoMath.isPrime(testInt))
                ansLabel.Text = "Введённое число - простое";
            else ansLabel.Text = "Введённое число - составное";
        }
        else
            ansLabel.Text = "Введено неправильное значение";
        ansLabel.Visible = true;
        this.Enabled = true;
    }

    private void inputBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
    {
        ansLabel.Visible = false;
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Numerics;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class PrimitiveRootForm : Form
    {
        int digits = 10;
    }
}

```

```

BigInteger modulo = new BigInteger(0);
BigInteger primit = new BigInteger(0);

public PrimitiveRootForm()
{
    InitializeComponent();
}

private void generatepBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    modulo = CryptoMath.genSimpleRand(digits);
    pBox.Text = modulo.ToString();
}

private void pBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    BigInteger.TryParse(pBox.Text, out modulo);
}

private void trueGenBtn1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (modulo < 3) pBox.Text = "12345";
    primit = CryptoMath.calculatePrimitiveRoot(modulo);
    trueBox.Text = primit.ToString();
}

private void fakeGenBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (modulo < 3) pBox.Text = "12345";
    primit = CryptoMath.calculateFakePrimitiveRoot(modulo);
    fakeBox.Text = primit.ToString();
}

private void digitsBox_TextChanged(object sender, EventArgs e
    )
{
    if (int.TryParse(digitsBox.Text, out digits))
        return;
}
}

```

```

}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    static class Program
    {
        /// <summary>
        /// The main entry point for the application.
        /// </summary>
        [STAThread]
        static void Main()
        {
            Application.EnableVisualStyles();
            Application.SetCompatibleTextRenderingDefault(false);
            Application.Run(new MainMenuForm());
        }
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class RhoInfoForm : Form
    {
        public RhoInfoForm()

```

```

    {
        InitializeComponent();
        textBox1.Select(0, 0);
    }

    private void endBtn_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        Answers.interruptTutorial = false;
        this.Close();
    }

    private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        Answers.interruptTutorial = false;
        Answers.formToShow -= 2;
        this.Close();
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Numerics;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    class SilverPohligHellman
    {

        static ProgressBar progress;

        public static List<BigInteger> PrimeFactorization(BigInteger
            p)
        {
            BigInteger d = 2;
            List<BigInteger> primeFactors = new List<BigInteger>();

```

```

    if (d*d <= p)
        if (p % d == 0)
        {
            primeFactors.Add(d);
            p /= d;
        }
    d += 1;
    while (d * d <= p)
    {
        while (p % d == 0)
        {
            primeFactors.Add(d);
            p /= d;
        }
        d += 2;
        progress.Increment(progress.Width / 100);
    }
    if (p > 1)
        primeFactors.Add(p);
    return primeFactors;
}

public static List<BigInteger[]> CountOccurences(List<
    BigInteger> primeFactors)
{
    List<BigInteger[]> res = new List<BigInteger[]>();
    var set_of_unique = primeFactors.Select(value => value).
        Distinct();
    foreach (var x in set_of_unique)
    {
        progress.Increment(progress.Width / 100);
        res.Add(new BigInteger[] { x, primeFactors.Count(elem =>
            elem == x) });
    }
    return res;
}

public static BigInteger[] ExtendedGCD(BigInteger a,
    BigInteger b)
{

```



```

    BigInteger a2 = 1;
    BigInteger a1 = 0;
    BigInteger b1 = 1;
    BigInteger b2 = 0;

    while (b > 0)
    {
        BigInteger q = a / b;
        BigInteger r = a % b;
        BigInteger temp = a1;
        a1 = a2 - q * a1;
        a2 = temp;
        temp = b1;
        b1 = b2 - q * b1;
        b2 = temp;
        a = b;
        b = r;
    }
    return new BigInteger[] { a, a2, b2 };
}

public static BigInteger modularInverse(BigInteger b,
    BigInteger n)
{
    BigInteger[] res = ExtendedGCD(b, n);
    BigInteger g = res[0];
    BigInteger x = res[1];
    BigInteger ret = 0;
    if (g == 1)
    {
        ret = (x % n);
        while (x < 0) x += n;
        return x;
    }
    return -1;
}

public static BigInteger ChineseRemainder(List<BigInteger[]>
    pairs)
{

```

```

BigInteger N = pairs[0][1];
BigInteger X = 0;
for (int i = 1; i < pairs.Count; i++)
{
    // BigInteger[] ni = pairs[i,];
    N *= pairs[i][1];
    progress.Value = 100 * (pairs.Count * 2 / i);
}
for (int i = 0; i < pairs.Count; i++)
{
    progress.Value = (int)(pairs.Count * 2 / (i+1));
    BigInteger ai = pairs[i][0];
    BigInteger ni = pairs[i][1];
    BigInteger mi = (N / ni);
    X += mi * ai * ExtendedGCD(mi, ni)[1];
}
while (X < 0) X += N;
return X % N;
}

public static BigInteger ShanksAlgorithm(BigInteger alpha,
    BigInteger beta, BigInteger n)
{
    return BabyStepGiantStep.bsgs2(alpha, beta, n);
    BigInteger m = (n-1).Sqrt() + 1;
    BigInteger a = BigInteger.ModPow(alpha, m, n);
    BigInteger b = ExtendedGCD(alpha, n)[1];
    List<BigInteger[]> L1 = new List<BigInteger[]>();
    List<BigInteger[]> L2 = new List<BigInteger[]>();

    for (int ii = 0; ii < m; ii++)
    {
        L1.Add(new BigInteger[] { ii, BigInteger.ModPow(a, ii, n)
            });
        BigInteger second = beta * BigInteger.Pow(b, ii) % n;
        while (second < 0) second += n;
        L2.Add(new BigInteger[] { ii, second });
    }

    L1 = L1.OrderBy(x => x[1]).ToList();

```

```

L2 = L2.OrderBy(x => x[1]).ToList();

int i = 0;
int j = 0;
bool found = false;
while (!found && i < m && j < m)
{
    if (L1[j][1] == L2[i][1])
        return m * L1[j][0] + L2[i][0] % n;
    else if (BigInteger.Abs(L1[j][1]) > BigInteger.Abs(L2[i][1]))
        i += 1;
    else
        j += 1;
}
return -1;
}

public static BigInteger[] CongruencePair(BigInteger g,
    BigInteger h, BigInteger p, BigInteger q, BigInteger e,
    BigInteger e1, BigInteger e2)
{
    BigInteger alphaInverse = modularInverse(e1, p);
    BigInteger x = 0;
    for (BigInteger i = 1; i < e+1; i++)
    {
        progress.Value = 100 * (int)(i / e+1);
        BigInteger a = BigInteger.ModPow(e1, q.Power(e - 1), p);
        BigInteger b = BigInteger.ModPow(e2 * alphaInverse.Power(x), q.Power(e - i), p);
        x += ShanksAlgorithm(a, b, p) * (q.Power(i - 1));
    }
    return new BigInteger[] { x, q.Power(e) };
}

public static BigInteger PohligHellman(BigInteger h,
    BigInteger g, BigInteger p, ProgressBar prg = null)
{
    progress = prg;
    List<BigInteger[]> CountOccurrencesList = CountOccurrences(

```

```

        PrimeFactorization(p - 1));

BigInteger tick = CountOccurencesList.Count / 100; // for
    progressbar
if (tick == 0)
    tick = 1;

var CongruenceList = new List<BigInteger[]>();
for (int i = 0; i < CountOccurencesList.Count; i++)
{
    progress.Value = 100 * (i+1) / (CountOccurencesList.Count
        +1);
    progress.Update();
    progress.Refresh();
    progress.Invalidate();
    BigInteger e1 = (h.Power((p - 1) / (CountOccurencesList[i]
        ][0].Power(CountOccurencesList[i][1])))) % p;
    BigInteger e2 = (g.Power((p - 1) / (CountOccurencesList[i]
        ][0].Power(CountOccurencesList[i][1])))) % p;
    try
    {
        CongruenceList.Add(CongruencePair(g, h, p,
            CountOccurencesList[i][0], CountOccurencesList[i]
                [1], e1, e2));
        // progress.Increment(upd_value);
    }
    catch(Exception e)
    {
        return -1;
    }
}
return ChineseRemainder(CongruenceList);
}
////////////////////////////////////
}
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;

```

```

using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class SPHFullAlgorithmForm : Form
    {
        public SPHFullAlgorithmForm()
        {
            InitializeComponent();
            textBox1.Select(0, 0);
        }

        private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Answers.interruptTutorial = false;
            Answers.formToShow -= 2;
            this.Close();
        }

        private void endBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Answers.interruptTutorial = false;
            this.Close();
        }
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

```

```

using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class SPHInfoForm : Form
    {
        public SPHInfoForm()
        {
            InitializeComponent();
            textBox1.Select(0, 0);
        }

        private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Answers.interruptTutorial = false;
            Answers.formToShow -= 2;
            this.Close();
        }

        private void endBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Answers.interruptTutorial = false;
            this.Close();
        }
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class SPHParticularAlgorithmForm : Form

```

```

{
    public SPHParticularAlgorithmForm()
    {
        InitializeComponent();
        textBox1.Select(0, 0);
    }

    private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        Answers.interruptTutorial = false;
        Answers.formToShow -= 2;
        this.Close();
    }

    private void endBtn_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        Answers.interruptTutorial = false;
        this.Close();
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class TestQuestionsForm1 : Form
    {
        public TestQuestionsForm1()
        {
            InitializeComponent();
        }
    }
}

```

```

private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Answers.interruptTutorial = false;
    Answers.formToShow -= 2;
    this.Close();
}

private void nextBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    //Сюда прикрутить проверку ответов
    Answers.TestAnswers[0] = TrueAnswer1RButton.Checked;
    Answers.TestAnswers[1] = TrueAnswer2RButton.Checked;
    Answers.interruptTutorial = false;
    this.Close();
}

private void TestQuestionsForm1_Load(object sender, EventArgs
    e)
{
}
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class TestQuestionsForm2 : Form
    {
        public TestQuestionsForm2()

```



```

    {
        InitializeComponent();
    }

    private void nextBtn_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        Answers.TestAnswers[2] = TrueAnswer3RButton.Checked;
        Answers.TestAnswers[3] = TrueAnswer4RButton.Checked;
        Answers.interruptTutorial = false;
        this.Close();
    }

    private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        Answers.interruptTutorial = false;
        Answers.formToShow -= 2;
        this.Close();
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class TestQuestionsForm3 : Form
    {
        public TestQuestionsForm3()
        {
            InitializeComponent();
        }
    }
}

```

```

private void nextBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Answers.TestAnswers[4] = TrueAnswer5RButton.Checked;
    Answers.TestAnswers[5] = TrueAnswer6RButton.Checked;
    Answers.interruptTutorial = false;
    this.Close();
}

private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Answers.interruptTutorial = false;
    Answers.formToShow -= 2;
    this.Close();
}
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class TestQuestionsForm4 : Form
    {
        public TestQuestionsForm4()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void nextBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Answers.TestAnswers[6] = TrueAnswer3RButton.Checked;
            Answers.TestAnswers[7] = TrueAnswer4RButton.Checked;

```

```

        Answers.interruptTutorial = false;
        this.Close();
    }

    private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        Answers.interruptTutorial = false;
        Answers.formToShow -= 2;
        this.Close();
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class TestQuestionsForm5 : Form
    {
        public TestQuestionsForm5()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void nextBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Answers.TestAnswers[8] = TrueAnswer3RButton.Checked;
            Answers.TestAnswers[9] = TrueAnswer4RButton.Checked;
            Answers.interruptTutorial = false;
            this.Close();
        }
    }
}

```

```

        private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Answers.interruptTutorial = false;
            Answers.formToShow -= 2;
            this.Close();
        }
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Numerics;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class TutorForm1 : Form
    {
        int g1, x1, m1, answer1;
        int g2, x2, m2, answer2;
        int g3, x3, m3, answer3;

        Random rand = new Random();

        public TutorForm1()
        {
            InitializeComponent();
            textBox1.Select(0, 0);
            g1 = rand.Next(2, 4);
            x1 = rand.Next(2, 4);
            m1 = rand.Next(3, 20);
            QuestionLabel1.Text =
                "Попробуйте возвести " + g1.ToString() + " в степень " +

```

```

        x1.ToString() + " по модулю " + m1.ToString());
g2 = rand.Next(2, 10);
x2 = rand.Next(2, 6);
m2 = rand.Next(5, 20);
QuestionLabel2.Text =
    g2.ToString() + "^" + x2.ToString() + " mod " + m2.
        ToString() + " = ";
g3 = rand.Next(2, 10);
x3 = rand.Next(2, 6);
m3 = rand.Next(5, 20);
QuestionLabel3.Text =
    g3.ToString() + "^" + x3.ToString() + " mod " + m3.
        ToString() + " = ";
}

private void nextBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (int.TryParse(answerBox1.Text, out answer1) && int.
        TryParse(answerBox2.Text, out answer2) && int.TryParse(
            answerBox3.Text, out answer3))
    {
        Answers.modpowAnswers[0] = (answer1 == BigInteger.ModPow(
            g1, x1, m1));
        Answers.modpowAnswers[1] = (answer2 == BigInteger.ModPow(
            g2, x2, m2));
        Answers.modpowAnswers[2] = (answer3 == BigInteger.ModPow(
            g3, x3, m3));
        //var newForm = new TutorForm2();
        Answers.interruptTutorial = false;
        this.Close();
        //newForm.Show();
    }
}

private void textBox1_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
}

```

```

        private void TutorForm1_Load(object sender, EventArgs e)
        {

        }

        private void answerBox_TextChanged(object sender, EventArgs e
        )
        {
        }
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Numerics;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class TutorForm2 : Form
    {
        BigInteger fi1, fi2, fi3;
        BigInteger ans1, ans2, ans3;

        private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Answers.interruptTutorial = false;
            Answers.formToShow -= 2;
            this.Close();
        }

        Random rand = new Random();
        public TutorForm2()
        {

```

```

        InitializeComponent();
        textBox1.Select(0, 0);
        fi1 = rand.Next(2, 30);
        QuestionLabel1.Text = "fi(" + fi1 + ") = ";
        fi2 = rand.Next(2, 30);
        if (fi2 == fi1) fi2++;
        QuestionLabel2.Text = "fi(" + fi2 + ") = ";
        fi3 = rand.Next(2, 30);
        if (fi3 == fi1) fi3++;
        if (fi3 == fi2) fi3++;
        QuestionLabel3.Text = "fi(" + fi3 + ") = ";
    }

    private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        if (BigInteger.TryParse(answerBox1.Text, out ans1) &&
            BigInteger.TryParse(answerBox2.Text, out ans2) &&
            BigInteger.TryParse(answerBox3.Text, out ans3))
        {
            Answers.EulerAnswers[0] = (ans1 == CryptoMath.phi(fi1));
            Answers.EulerAnswers[1] = (ans2 == CryptoMath.phi(fi2));
            Answers.EulerAnswers[2] = (ans3 == CryptoMath.phi(fi3));
            //var newForm = new TutorForm3();
            //newForm.Show();
            Answers.interruptTutorial = false;
            this.Close();
        }
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

```

```

using System.Numerics;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class TutorForm3 : Form
    {
        BigInteger ans1, ans2;
        public TutorForm3()
        {
            InitializeComponent();
            textBox1.Select(0, 0);
        }

        private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Answers.interruptTutorial = false;
            Answers.formToShow -= 2;
            this.Close();
        }

        private void TutorForm3_Load(object sender, EventArgs e)
        {
        }

        private void nextBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Answers.interruptTutorial = false;
            BigInteger.TryParse(answerBox1.Text, out ans1);
            BigInteger.TryParse(answerBox2.Text, out ans2);
            Answers.ReverseAnswers[0] = ans1 == 7;
            Answers.ReverseAnswers[1] = ans2 == 21;
            //var newForm = new TutorForm4();
            //newForm.Show();
            this.Close();
        }
    }
}

```

```

using System;

```



```

using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class TutorForm4 : Form
    {
        public TutorForm4()
        {
            InitializeComponent();
            textBox1.Select(0, 0);
        }

        private void nextBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Answers.interruptTutorial = false;
            //var newForm = new TutorForm5();
            //newForm.Show();
            this.Close();
        }

        private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Answers.interruptTutorial = false;
            Answers.formToShow -= 2;
            this.Close();
        }

        private void textBox1_TextChanged(object sender, EventArgs e)
        {
        }
    }
}

```

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Numerics;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class TutorForm5 : Form
    {
        private BigInteger p = new BigInteger(0);
        private BigInteger g = new BigInteger(0);
        private BigInteger x = new BigInteger(0);
        private BigInteger y = new BigInteger(0);
        private long digits = 30;
        public TutorForm5()
        {
            digits = 30;
            InitializeComponent();
        }

        //генерация p
        private void generatepBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            p = CryptoMath.genSimpleRand(digits);
            gtextBox.Text = "";
            xtextBox.Text = "";
            ytextBox.Text = "";
            ptextBox.Text = p.ToString();
        }

        private void generategBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            this.Enabled = false;

```

```

        if (p>2)
            if (CryptoMath.DIGITS > 10)
                g = CryptoMath.calculateFakePrimitiveRoot(p);
            else
                g = CryptoMath.calculatePrimitiveRoot(p);
        gtextBox.Text = g.ToString();
        this.Enabled = true;
    }

    private void generatexBtn_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        if (p>2)
            do
                x = CryptoMath.genRand(digits);
            while (x == 0 || x >= p);
        xtextBox.Text = x.ToString();
    }

    private void generateyBtn_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        if (p > 2)
            y = BigInteger.ModPow(g, x, p);
        ytextBox.Text = y.ToString();
    }

    private void nextBtn_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        if (CryptoMath.isPrime(p) && p > 2 && x > 1 && g > 1 && y >
            0)
        {
            //var newForm = new TutorForm6(g, p, y, x);
            //newForm.Show();
            Answers.g = g;
            Answers.p = p;
            Answers.y = y;
            Answers.x = x;
            Answers.interruptTutorial = false;
            this.Close();
        }
        if (!CryptoMath.isPrime(p)) wrongpLabel.Visible = true;
    }

```

```

}

private void ptextBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    BigInteger.TryParse(ptextBox.Text, out p);
}

private void gtextBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
}

private void TutorForm2_Load(object sender, EventArgs e)
{
}

private void ptextBox_TextChanged_1(object sender, EventArgs
    e)
{
    BigInteger.TryParse(ptextBox.Text, out p);
}

private void xtextBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    BigInteger.TryParse(xtextBox.Text, out x);
}

private void ytextBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    // ytextBox.Text = BigInteger.ModPow(g, x, p).ToString();
}

private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Answers.interruptTutorial = false;
    Answers.formToShow -= 2;
    this.Close();
}

```

```

    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Numerics;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class TutorForm6 : Form
    {
        private bool hasLoadedKey = false;
        private BigInteger p = new BigInteger(0);
        private BigInteger g = new BigInteger(0);
        private BigInteger x = new BigInteger(0);
        private BigInteger y = new BigInteger(0);
        private BigInteger k = new BigInteger(0);
        private BigInteger a = new BigInteger(0);
        private BigInteger b = new BigInteger(0);
        private BigInteger M = new BigInteger(0);
        public TutorForm6(/*BigInteger garg, BigInteger parg,
            BigInteger yarg, BigInteger xarg*/)
        {
            InitializeComponent();
            //g = Answers.g;
            //p = Answers.p;
            //y = Answers.y;
            //x = Answers.x;
            //gLabel.Text += g.ToString();
            //pLabel.Text += p.ToString();
            //yLabel.Text += y.ToString();
        }
    }
}

```

```

private void generatekBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    do
    {
        k = CryptoMath.genRand(20);
    } while (k > p - 1);
    kBox.Text = k.ToString();
}

private void calcaBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    a = BigInteger.ModPow(g, k, p);
    aBox.Text = a.ToString();
}

private void MBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    Encoding encoding = Encoding.GetEncoding(1251);
    byte[] converted = encoding.GetBytes(MBox.Text + (char)0);
    M = new BigInteger(converted);
    if (M >= p) wrongMLabel.Visible = true;
    else wrongMLabel.Visible = false;
    aBox.Text = "";
    bBox.Text = "";
    a = 0;
    b = 0;
}

private void calcbbtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    //подозрительный код, может взять и не заработать
    b = BigInteger.ModPow(y, k, p);
    b *= M;
    b %= p;
    bBox.Text = b.ToString();
}

private void nextBtn_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (M < p && M > 0 && a > 0 && b > 0 && k > 0)

```

```

    {
        //var newForm = new TutorForm7(g, p, y, x, a, b);
        //newForm.Show();
        Answers.interruptTutorial = false;
        Answers.a = a;
        Answers.b = b;
        Answers.g = g;
        Answers.p = p;
        Answers.y = y;
        Answers.x = x;
        this.Close();
    }
}

private void label9_Click(object sender, EventArgs e)
{

}

private void kBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    BigInteger.TryParse(kBox.Text, out k);
}

private void TutorForm6_Load(object sender, EventArgs e)
{
    if (!hasLoadedKey)
    {
        g = Answers.g;
        p = Answers.p;
        y = Answers.y;
        x = Answers.x;
        gLabel.Text += g.ToString();
        pLabel.Text += p.ToString();
        yLabel.Text += y.ToString();
        hasLoadedKey = true;
    }
}

private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)

```

```

        {
            Answers.interruptTutorial = false;
            Answers.formToShow -= 2;
            this.Close();
        }
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Numerics;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class TutorForm7 : Form
    {
        private BigInteger p = new BigInteger(0);
        private BigInteger g = new BigInteger(0);
        private BigInteger x = new BigInteger(0);
        private BigInteger y = new BigInteger(0);
        private BigInteger a = new BigInteger(0);
        private BigInteger b = new BigInteger(0);
        private BigInteger M = new BigInteger(65);
        public TutorForm7(/*BigInteger garg, BigInteger parg,
            BigInteger yarg, BigInteger xarg, BigInteger aarg,
            BigInteger barg*/, BigInteger Marg*/)
        {
            InitializeComponent();
            //g = Answers.a;
            //p = Answers.b;
            //y = Answers.y;
            //x = Answers.x;
            //a = Answers.a;

```



```

        //b = Answers.b;
        ///M = Marg;
        //gLabel.Text += g.ToString();
        //pLabel.Text += p.ToString();
        //yLabel.Text += y.ToString();
        //xLabel.Text += x.ToString();
        //aLabel.Text += a.ToString();
        //bLabel.Text += b.ToString();
    }

    private void label2_Click(object sender, EventArgs e)
    {

    }

    private void DecryptBtn_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        Encoding encoding = Encoding.GetEncoding(1251);
        BigInteger apx = BigInteger.ModPow(a, x, p);
        apx = BigInteger.ModPow(apx, p - 2, p);
        M = (b * apx) % p;
        MNumBox.Text = M.ToString();
        byte[] textBytes = M.ToByteArray();
        MtextBox.Text = encoding.GetString(textBytes);
    }

    private void endBtn_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        if (M > 0)
        {
            //var newForm = new TutorResults();
            //newForm.Show();
            Answers.interruptTutorial = false;
            this.Close();
        }
    }

    private void TutorForm7_Load(object sender, EventArgs e)
    {
        g = Answers.g;
    }

```

```

        p = Answers.p;
        y = Answers.y;
        x = Answers.x;
        a = Answers.a;
        b = Answers.b;
        //M = Marg;
        gLabel.Text += g.ToString();
        pLabel.Text += p.ToString();
        yLabel.Text += y.ToString();
        xLabel.Text += x.ToString();
        aLabel.Text += a.ToString();
        bLabel.Text += b.ToString();
    }

    private void ReturnBtn_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        Answers.interruptTutorial = false;
        Answers.formToShow -= 2;
        this.Close();
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class TutorIntroForm : Form
    {
        public TutorIntroForm()
        {
            InitializeComponent();

```

```

        textBox1.Select(0, 0);
    }

    private void nextBtn_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        //var newForm = new TutorForm1();
        //newForm.Show();
        Answers.interruptTutorial = false;
        this.Close();
    }
}

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace ElgamalTutor
{
    public partial class TutorResults : Form
    {
        private static string BoolToResult(bool b)
        {
            if (b) return "Верно";
            else return "Неверно";
        }

        public TutorResults()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void endBtn_Click(object sender, EventArgs e)
        {

```

```

        this.Close();
    }

    private void TutorResults_Load(object sender, EventArgs e)
    {
        if (Answers.modpowAnswers[0])
            powmodAnsLabel1.Text += "Верно";
        else
            powmodAnsLabel1.Text += "Неверно";
        if (Answers.modpowAnswers[1])
            powmodAnsLabel2.Text += "Верно";
        else
            powmodAnsLabel2.Text += "Неверно";
        if (Answers.modpowAnswers[2])
            powmodAnsLabel3.Text += "Верно";
        else
            powmodAnsLabel3.Text += "Неверно";
        if (Answers.EulerAnswers[0])
            EulerAnsLabel1.Text += "Верно";
        else
            EulerAnsLabel1.Text += "Неверно";
        if (Answers.EulerAnswers[1])
            EulerAnsLabel2.Text += "Верно";
        else
            EulerAnsLabel2.Text += "Неверно";
        if (Answers.EulerAnswers[2])
            EulerAnsLabel3.Text += "Верно";
        else
            EulerAnsLabel3.Text += "Неверно";
        if (Answers.ReverseAnswers[0])
            ReverseAnsLabel1.Text += "Верно";
        else
            ReverseAnsLabel1.Text += "Неверно";
        if (Answers.ReverseAnswers[1])
            ReverseAnsLabel2.Text += "Верно";
        else
            ReverseAnsLabel2.Text += "Неверно";
        if (Answers.DiscreteLogAnswers[0])
            DiscreteLogAnsLabel1.Text += "Верно";
        else
    }

```

```

        DiscreteLogAnsLabel1.Text += "Неверно";
    if (Answers.DiscreteLogAnswers[1])
        DiscreteLogAnsLabel2.Text += "Верно";
    else
        DiscreteLogAnsLabel2.Text += "Неверно";
    if (Answers.AlgorithmicDLOGAnswers[0])
        AlgAnsLabel1.Text += "Верно";
    else
        AlgAnsLabel1.Text += "Неверно";
    if (Answers.AlgorithmicDLOGAnswers[1])
        AlgAnsLabel2.Text += "Верно";
    else
        AlgAnsLabel2.Text += "Неверно";

    //////////////////////////////////////

    TestAnswer1Label.Text += BoolToResult(Answers.TestAnswers
        [0]);
    TestAnswer2Label.Text += BoolToResult(Answers.TestAnswers
        [1]);
    TestAnswer3Label.Text += BoolToResult(Answers.TestAnswers
        [2]);
    TestAnswer4Label.Text += BoolToResult(Answers.TestAnswers
        [3]);
    TestAnswer5Label.Text += BoolToResult(Answers.TestAnswers
        [4]);
    TestAnswer6Label.Text += BoolToResult(Answers.TestAnswers
        [5]);
    TestAnswer7Label.Text += BoolToResult(Answers.TestAnswers
        [6]);
    TestAnswer8Label.Text += BoolToResult(Answers.TestAnswers
        [7]);
    TestAnswer9Label.Text += BoolToResult(Answers.TestAnswers
        [8]);
    TestAnswer10Label.Text += BoolToResult(Answers.TestAnswers
        [9]);

    //Some LINQ magic
    double summa = Answers.modpowAnswers.Sum(a => a ? 1 : 0) +
        Answers.EulerAnswers.Sum(a => a ? 1 : 0)

```

```

        + Answers.ReverseAnswers.Sum(a => a ? 1 : 0) + Answers.
          DiscreteLogAnswers.Sum(a => a ? 1 : 0)
        + Answers.TestAnswers.Sum(a => a ? 1 : 0) + Answers.
          AlgorithmicDLOGAnswers.Sum(a => a ? 1 : 0);
double FinalMark = 3 * (summa / 20) + 2;
if (FinalMark % 1 >= 0.5)
    FinalMark += 1;
FinalMarkLabel.Text = ((int)FinalMark).ToString();
    }
}
}

```