МИНОБРНАУКИ РОССИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)
Кафедра информационной безопасности

ОТЧЕТ

по лабораторной работе №6
по дисциплине «Криптография и защита информации»
Тема: Изучение хэш-функций

Студент гр. 9381 _____ Колованов Р.А.

Преподаватель _____ Племянников А.К.

Санкт-Петербург
2022

Цель работы.

Исследовать хэш-функции MD5, SHA-256, SHA-512, SHA-3, код контроля целостности HMAC и проанализировать атаки дополнительной коллизии на хэш-функцию. Получить практические навыки работы с хэш-функциями и атакой на них, в том числе и в программном продукте Cryptool 1 и 2.

Основные теоретические положения.

Хэш-функции.

Хэш-функцией (*hash function*) называется математическая или иная функция, которая для строки произвольной длины вычисляет некоторое целое значение или некоторую другую строку фиксированной длины.

Хэш-значение может также называться дайджестом (*digest*) или отпечатком (*fingerprint*) сообщения.

Алгоритмы хэширования также называют бесключевыми дайджестами сообщений (*nonkeyed message digest*).

Однонаправленная функция *H(M)* применяется к сообщению длины *M* и возвращает значение фиксированной длины *h* ($h = H(M)$, где *h* имеет длину *m*).

Однонаправленные функции имеют дополнительные свойства, позволяющие отличать их от обычных функций, которые вычисляют значение фиксированной длины по входным данным:

1. Зная *M*, легко вычислить *h*;
2. Зная *H*, трудно определить *M*, для которого $H(M) = h$;
3. Зная *M*, трудно определить другое сообщение, M_1, для которого $H(M) = H(M_1)$.

Понятие идеальной хэш-функции:

- Для нового сообщения произвольной длины генерируется хэш фиксированной длины, который представляет собой случайную строку нулей и единиц. Эта пара (сообщение, хэш) образует запись в таблице;
- Для сообщения, которому ранее уже был сгенерирован хэш, дайджест выдается из соответствующей записи в таблице;

- Хэш для нового сообщения выбирается независимо от предыдущих значений хэша;
- Отношения между возможными сообщениями и возможными хэшами – «многие к одному».

Хэш-функция SHA-3.

В основе Keccak (SHA-3) лежит конструкция под названием Sponge – губка. Сам алгоритм состоит из 2-х этапов:

1. Впитывание – *Absording*. На каждом шаге очередной блок сообщения p_i длиной r подмешивается к части внутреннего состояния S, которая затем целиком модифицируется функцией f-многораундовой бесключевой псевдослучайной перестановкой;
2. Отжатие – *Squeezing*. Чтобы получить хэш, функция f многократно применяется к состоянию, и на каждом шаге сохраняется кусок размера r до тех пор, пока не получим выход Z необходимой длины (путем конкатенации).

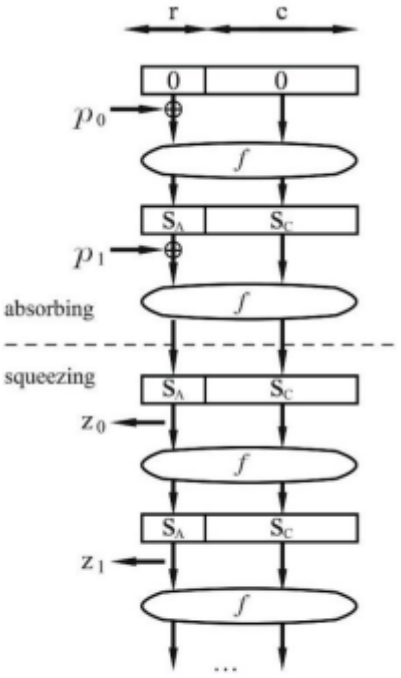


Рисунок 6.1

Обобщенная схема работы алгоритма представлена на рисунке 6.1.

Контроль целостности по коду HMAC.

HMAC – один из механизмов проверки целостности информации, позволяющий гарантировать то, что данные, передаваемые или хранящиеся в ненадёжной среде, не были изменены посторонними лицами. Механизм HMAC использует MAC — стандарт, описывающий способ обмена данными и способ проверки целостности передаваемых данных с использованием секретного

ключа. Два клиента, использующие HMAC, как правило, разделяют общий секретный ключ. HMAC — надстройка над MAC.

Алгоритм HMAC можно записать в виде одной формулы:

$$HMAC_K(text) = H\big((K \oplus opad)||H((K \oplus ipad)||text)\big),$$

где $\oplus$ – операция XOR, $\|$ – конкатенация, K – секретный ключ, *ipad* – блок вида (0x36 0x36 0x36 ... 0x36), где байт 0x36 повторяется b раз, H – хэш-функция, *opad* – блок вида (0x5C 0x5C 0x5C ... 0x5C), где байт 0x5c повторяется b раз.

Атака дополнительной коллизии на хэш-функцию.

Атака дополнительной коллизии основана на одной из проблем парадокса дня рождений. Он заключается в следующем: в группе, состоящей из $23 = c \cdot \sqrt{365}$ или более человек, вероятность совпадения дней рождения (число и месяц) хотя бы у двух людей превышает 50%. Применительно к хэш-функции это означает, что сложность атаки, целью которой является поиск двух сообщений с одинаковыми значением хэш-функции, пропорционально $\sqrt{2^N}$, где N – длина хэш-кода.

Ход работы.

Исследование лавинного эффекта MD5, SHA-1, SHA-256, SHA512.

Задание.

1. Открыть текст не менее 1000 знаков. Добавить свое ФИО последней строкой. Перейти к утилите Indiv.Procedures -> Hash -> Hash Demonstration;
2. Задать хэш-функцию, подлежащую исследованию: MD5, SHA-1, SHA-256, SHA-512;
3. Для каждой хэш-функции повторить следующие действия:
    a. Измените (добавлением, заменой, удалением символа) исходный файле;
    b. Зафиксировать количество измененных битов в дайджесте модифицированного сообщения;

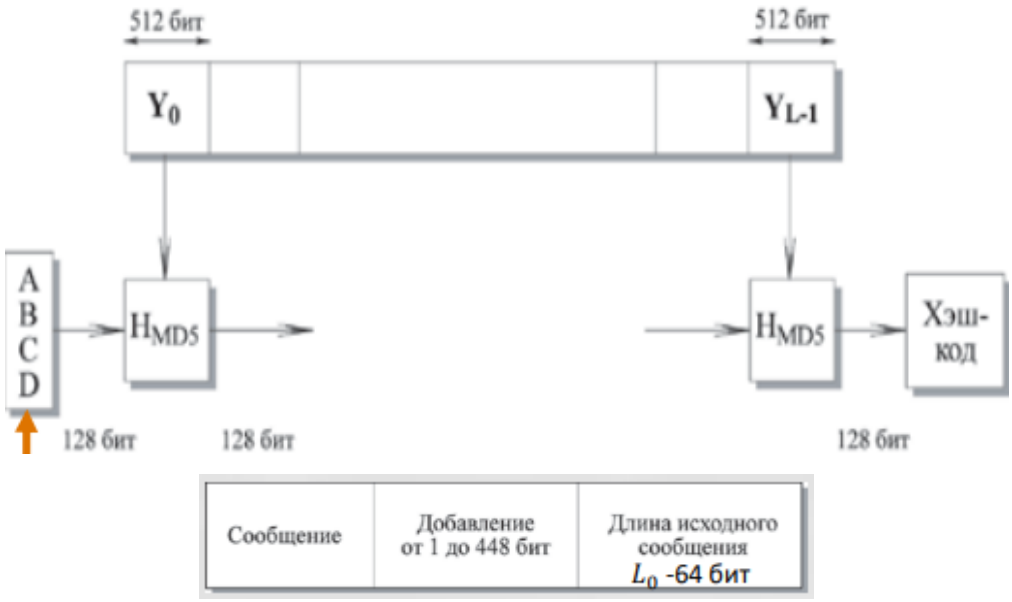
c. Вернуть сообщение в исходное состояние;

4. Выполните процедуру 3 раза (добавлением, заменой, удалением символа) и подсчитайте среднее количество измененных бит дайджеста. Зафиксировать результаты в таблице.

Основные параметры и обобщенная схема хэш-функции MD5.

Основные параметры хэш-функции MD5:

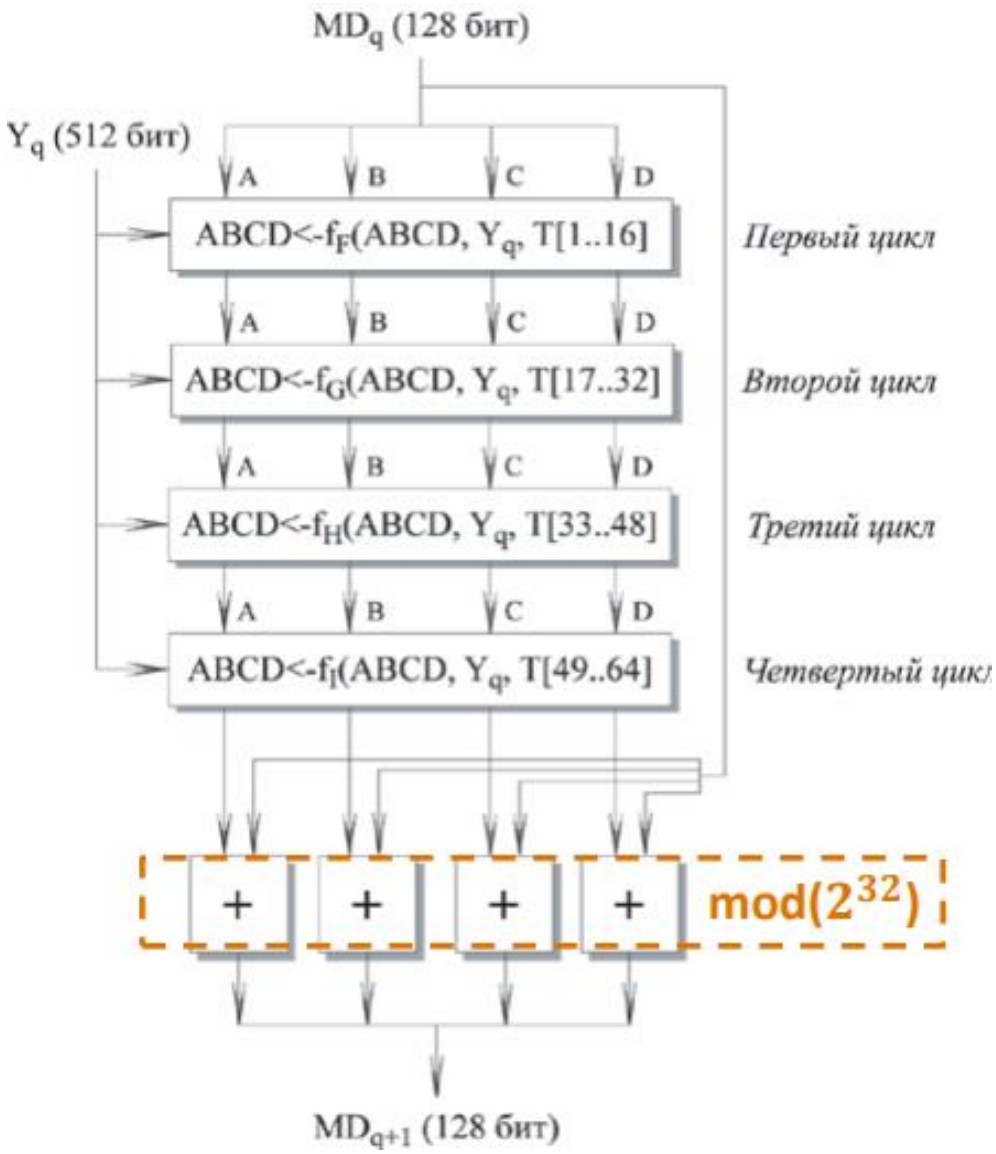
- Длина сообщения кратна 512 битам, в последний блок добавляются недостающие биты (в виде 1000…000) и 64-битное представление длины исходного сообщения $L_0 = L_0 \bmod(2^{64})$;
- Длина хэша – 128 бит;
- Число раундов – 4, в каждом раунде 16 итераций;
- MD-буфер – 4 регистра (A, B, C, D) по 32 бита, в сумме 128 бит.



Функция сжатия H_{MD5}:

- Каждый цикл переопределяется значение буфера ABCD;
- T – массив вычисляемых величин (по 32 бита).

$$T_i = \text{int}\,(2^{32} * \text{abs}(\sin(i)),\ i=1,64$$



Цикл сжатия H_{MD5}:

- Каждый цикл состоит из 6 шагов;
- f – одна из элементарных функций f_F, f_G, f_H или f_I:

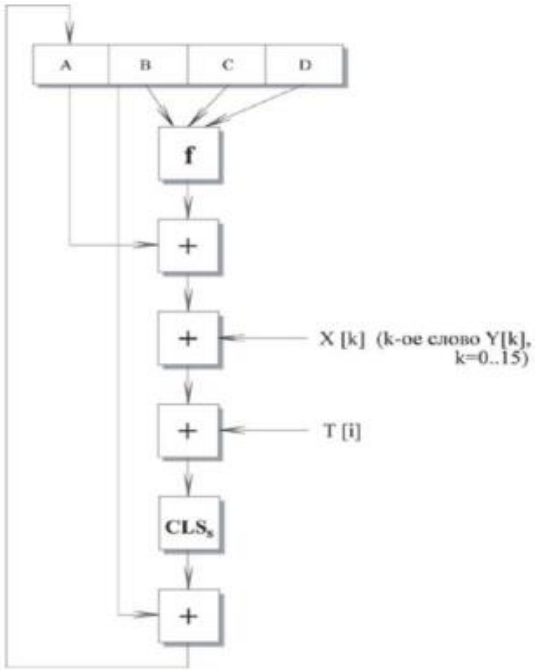
$$f_F = (B \,\&\, C) \vee (not\ B \,\&\, D)$$

$$f_G = (B \,\&\, D) \vee (C \,\&\, not\ D)$$

$$f_H = B \oplus C \oplus D$$

$$f_I = C \oplus (B \,\&\, not\ D)$$

- Сложение выполняется по модулю 2^{32};
- CLS_5 циклический сдвиг влево на 5 разрядов.



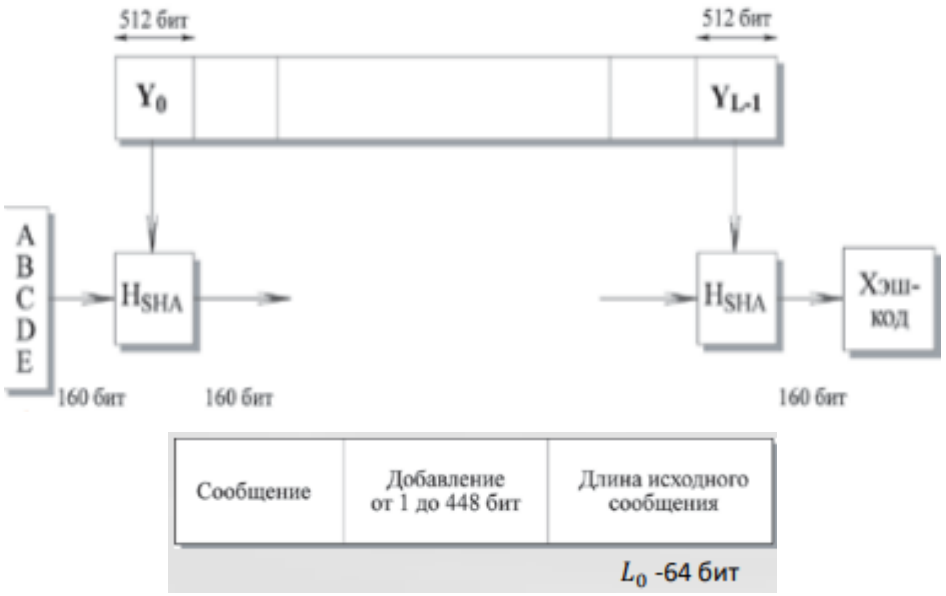
Свойства MD5:

- Каждый бит хэш-кода является функцией от каждого бита входа;
- Комплексное повторение элементарных функций обеспечивает хорошее перемешивание результата;
- MD5 является наиболее сильной хэш-функцией для 128-битного хэш-кода.

Основные параметры и обобщенная схема хэш-функции SHA-1.

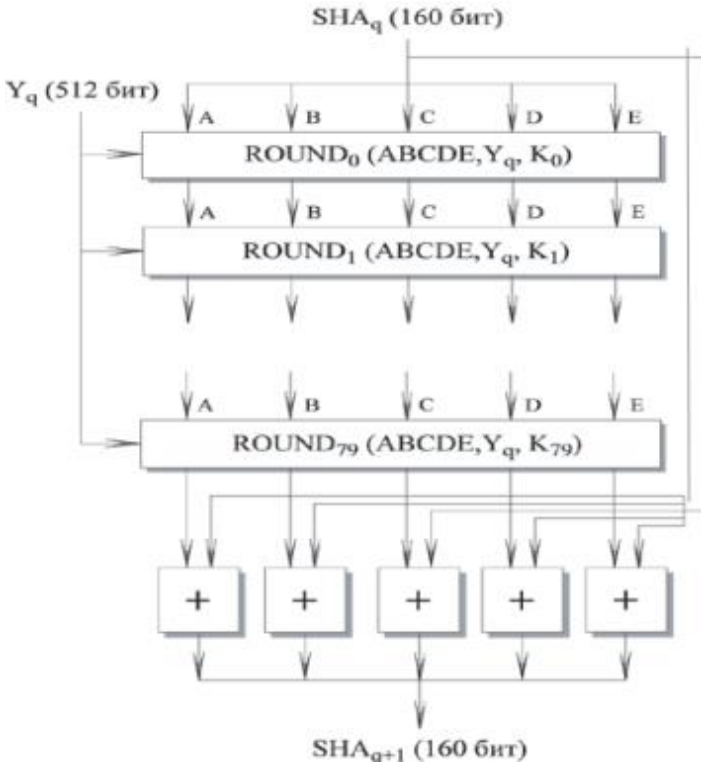
Основные параметры хэш-функции SHA-1:

- Длина сообщения кратна 512 битам, в последний блок добавляются недостающие биты (в виде 1000…000) и 64-битное представление длины исходного сообщения $L_0 = L_0 \bmod(2^{64})$;
- Длина хэша – 160 бит;
- Число раундов – 80;
- MD-буфер – 5 регистров (A, B, C, D, E) по 32 бита, в сумме 160 бит.

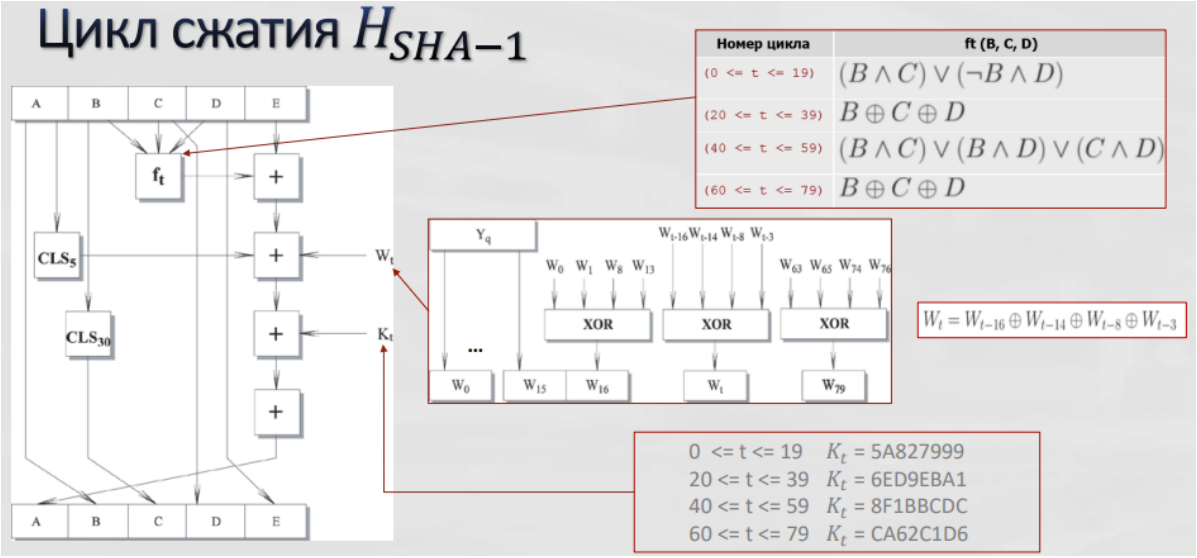


Функция сжатия H_{SHA-1}:

- Состоит из 80 циклов обработок, имеющих одинаковую структуру;
- Каждый цикл переопределяет 160-битное значение буфера ABCDE;
- В каждом цикле используется дополнительная константа K_t принимающая 4 различных значения;
- Сложение выполняется по модулю 2^{32}.

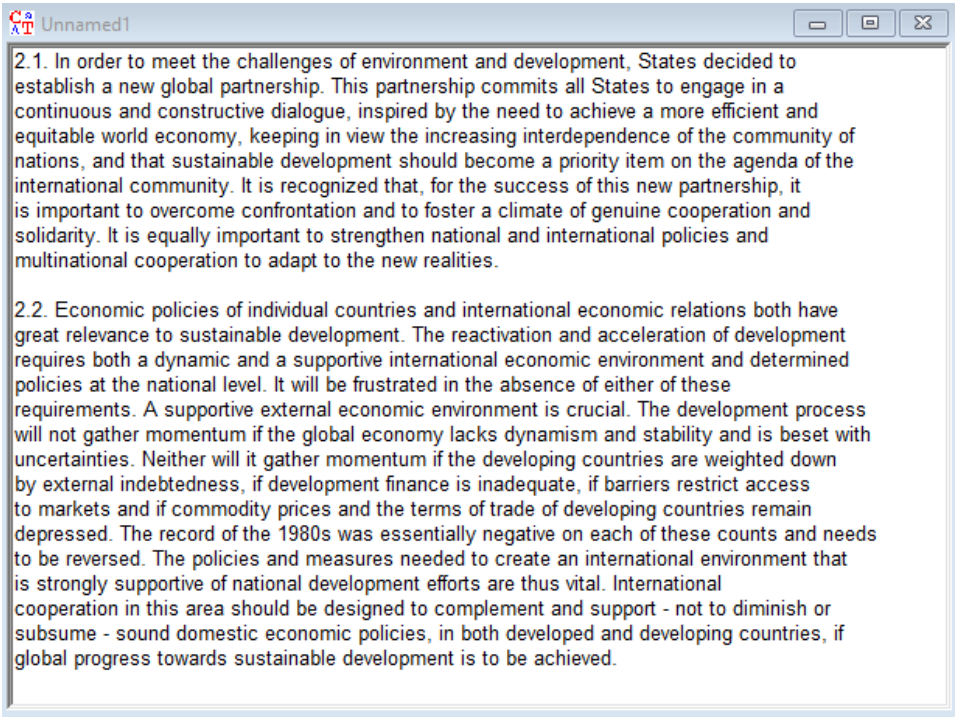


Цикл сжатия H_{SHA-1}:

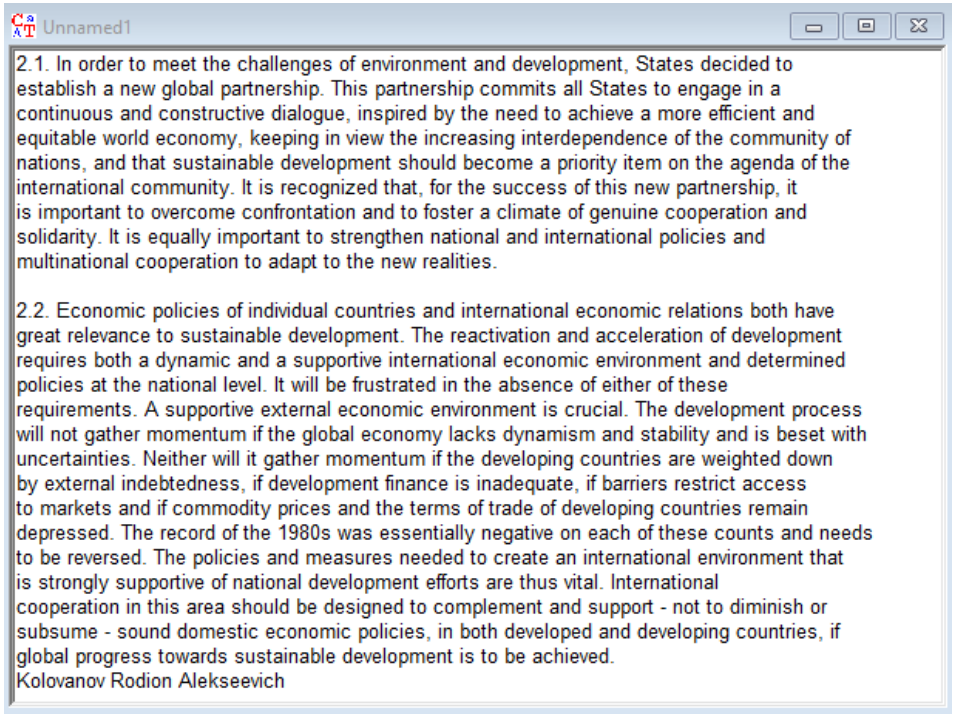


Исследование лавинного эффекта хэш-функций MD5, SHA-1, SHA-256, SHA-512.

Был выбран следующий открытый текст, размер которого составляет не менее 1000 символов:



В конец выбранного открытого текста была добавлена строка «Kolovanov Rodion Alekseevich»:



Далее была открыта утилита «Indiv. Procedures -> Hash -> HashDemonstration», в которой поочередно выбирались хэш-функции MD5, SHA-1, SHA-256, SHA-512.

Для каждой из рассматриваемых хэш-функций зафиксируем количество измененных бит в хэше при добавлении/изменении/удалении одного символа исходного сообщения, а также вычислим среднее количество измененных бит хэша:

Хэш-функция	Изменение	Количество измененных бит хэша	Среднее количество измененных бит
MD5	Добавление одного символа	57.03% (73 из 128)	53.39% (68.33 из 128)
	Изменение одного символа	50.78% (65 из 128)	
	Удаление одного символа	52.34% (67 из 128)	

SHA-1	Добавление одного символа	46.88% (75 из 160)	50.63% (81 из 160)
	Изменение одного символа	50.00% (80 из 160)	
	Удаление одного символа	55.00% (88 из 160)	
SHA-256	Добавление одного символа	53.52% (137 из 256)	50.91% (130.33 из 256)
	Изменение одного символа	52.34% (134 из 256)	
	Удаление одного символа	46.88% (120 из 256)	
SHA-512	Добавление одного символа	49.61% (254 из 512)	49.54% (253.67 из 512)
	Изменение одного символа	47.66% (244 из 512)	
	Удаление одного символа	51.37% (263 из 512)	

Как видно из результатов, при добавлении, изменении или удалении одного символа открытого текста среднее количество измененных бит хэша составляет около 51% от общего количества бит хэша.

Хэш-функция SHA-3.

Задание.

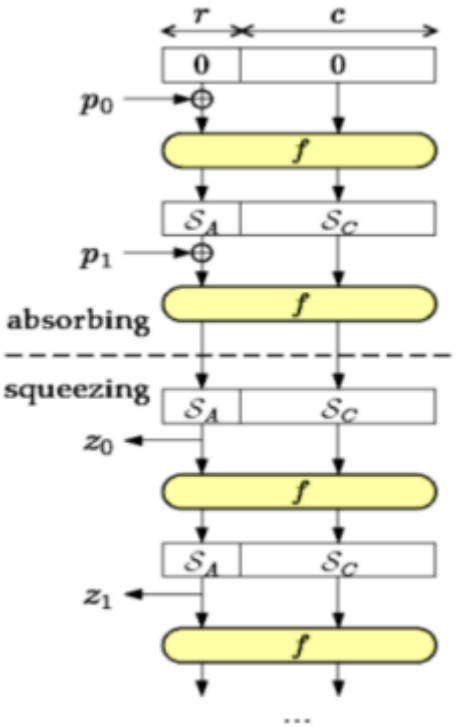
1. Открыть шаблон Keccak Hash (SHA-3) в Cryptool 2;
2. В модуле Keccak сделать следующие настройки:
    a. Adjust manually = ON;
    b. Keccak version = SHA3-512;
3. Загрузить файл из предыдущего задания;

4. Запустить проигрывание шаблона в режиме ручного управления:
    a. Сохранить скриншоты преобразований первого раунда;
    b. Сохранить скриншот заключительной фазы;
    c. Сохранить значение дайджеста;
5. Вычислить значения дайджеста для модифицированных текстов из предыдущего задания;
6. Подсчитать лавинный эффект с помощью самостоятельно разработанной автоматизированной процедуры.

Основные параметры и обобщенная схема хэш-функции SHA-3.

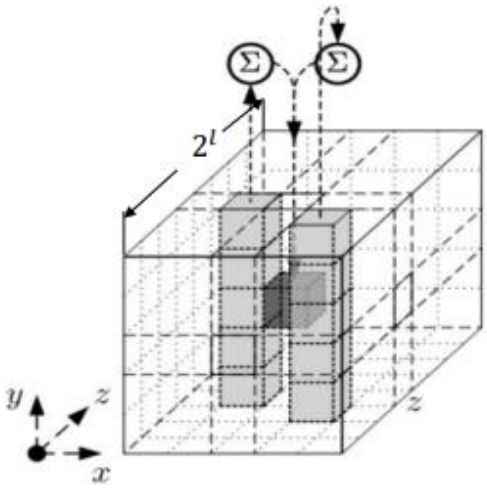
Хэш-функция Keccak:

- Является производительной в аппаратной реализации;
- Существует возможность реализации на миниатюрных встраиваемых устройствах;
- В основе Keccak лежит конструкция под названием Sponge (губка);
- Алгоритм состоит из двух этапов:



  - Absorbing (впитывание). На каждом шаге очередной блок сообщения p_i длиной r подмешивается к части внутреннего состояния S, которая затем целиком модифицируется функцией f – многораундовой бесключевой псевдослучайной перестановкой
  - Squeezing (отжатие). Чтобы получить хэш, функция f многократно применяется к состоянию, и на каждом шаге извлекается и сохраняется кусок размера r до тех пор, пока не получим выход Z необходимой длины (путем конкатенации).

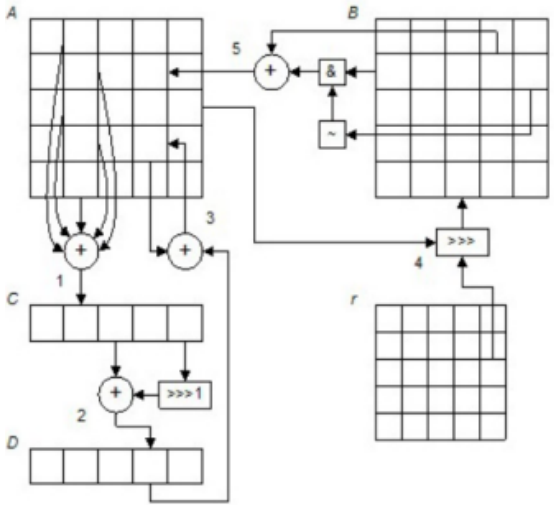
Внутреннее состояние:



- Текущее внутреннее состояние представлено в виде набора битов, сгруппированных в виде виртуального объекта в трёхмерном пространстве (трёхмерного массива);
- Объект можно разбить на плоскости или точнее слои вдоль трёх осей координат, а элементы каждого слоя — на фрагменты в виде столбцов или строк;
- Трёхмерное представление текущего внутреннего состояния помогает применить набор простейших логических операций (XOR, AND, NOT) оптимальным образом для реализации псевдослучайных перестановок.

Бесключевая псевдослучайная перестановка *f*:

- Раундовые ключи выполняют 5-ти шаговую обработку внутреннего состояния;
- Количество раундов равно 12 + 2*l для состояния размера 25 * 2^l бит (0 <= l <= 6).



Оценка криптостойкости:

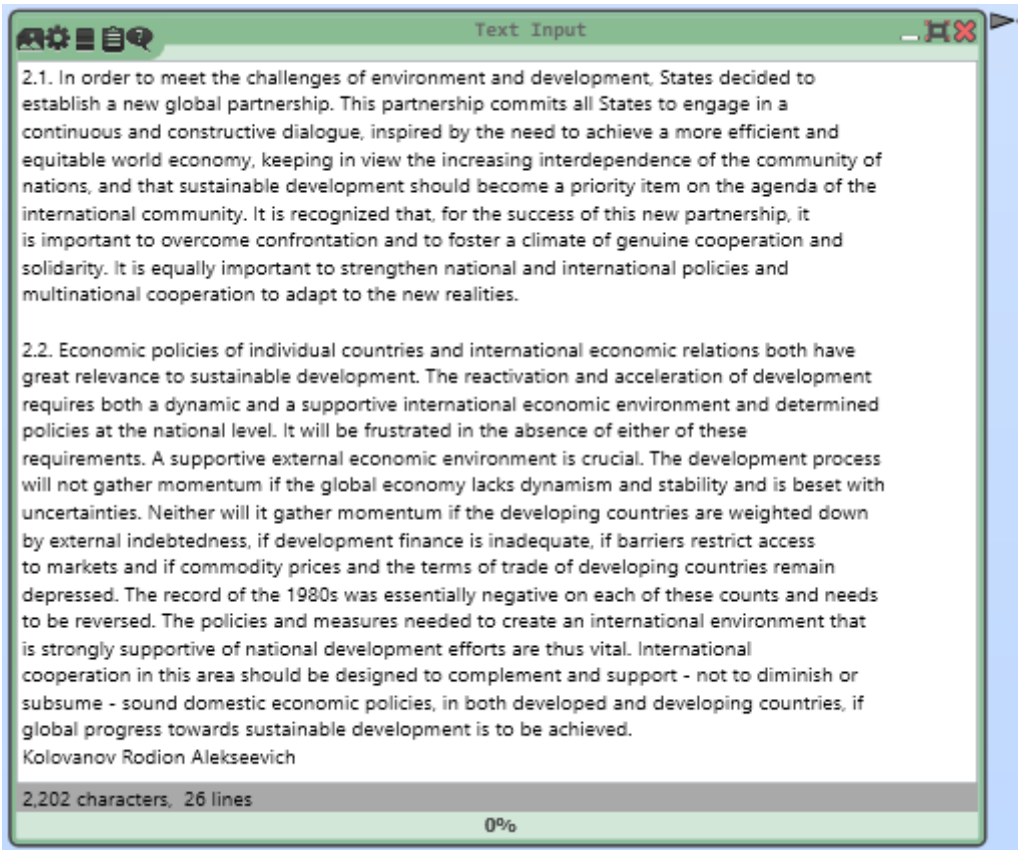
- Стойкость неотличима от стойкости идеальной хэш-функции с размером дайджеста, равным c/2, при условии, что f – идеальная функция перестановки;

Масштабируемость:

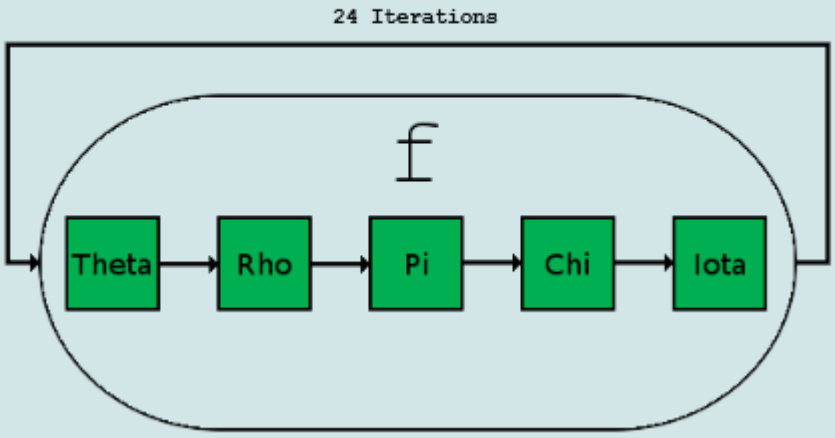
- Функцию перестановки f пользователь может выбирать самостоятельно из набора предопределенных функций;
- Каждая функция из набора обрабатывает внутреннее состояние определенного размера $|S| = 25 \cdot 2^l$, $0 \le l \le 6$;
- Для того, чтобы в реализации использовалась функция f, обрабатывающая состояние размера |S|, необходимо, чтобы r + c = |S|;
- Количество раундов n применения функции f вычисляется как n = 12 + 2*l, где $l = \log_2 |S / 25|$.

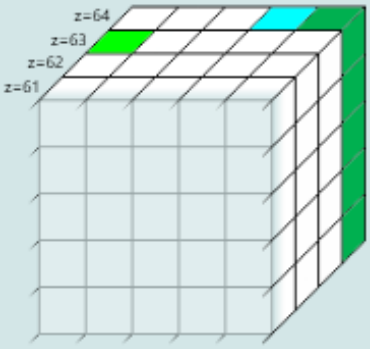
Работа хэш-функции SHA-3.

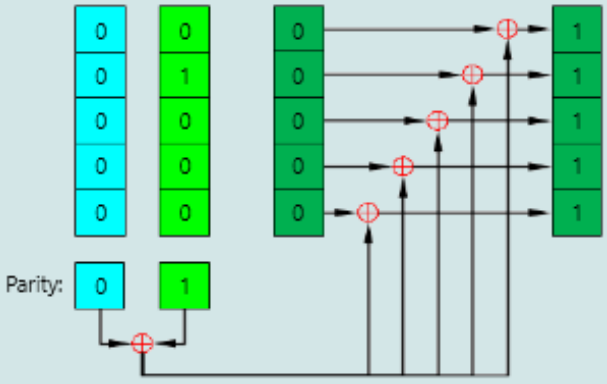
Для начала был открыт шаблон Keccak Hash (SHA-3) в CrypTool 2 (с настройками Adjust manually = ON, Keccak version = SHA3-512). В качестве исходного текста был взят исходный текст из предыдущего пункта:



Скриншоты работы первого раунда:







Input block #1 is XORed on the state. When examining the state before and after the absorbtion it can be observed that the capacity part (the lower part of the state) is unmodified.

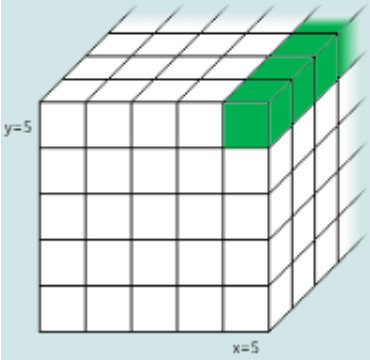
```
      Old State                   Block #1/31                  New State

00 00 00 00 00 00 00 00    32 2E 31 2E 20 49 6E 20    32 2E 31 2E 20 49 6E 20
00 00 00 00 00 00 00 00    6F 72 64 65 72 20 74 6F    6F 72 64 65 72 20 74 6F
00 00 00 00 00 00 00 00    20 6D 65 65 74 20 74 68    20 6D 65 65 74 20 74 68
00 00 00 00 00 00 00 00    65 20 63 68 61 6C 6C 65    65 20 63 68 61 6C 6C 65
00 00 00 00 00 00 00 00    6E 67 65 73 20 6F 66 20    6E 67 65 73 20 6F 66 20
00 00 00 00 00 00 00 00    65 6E 76 69 72 6F 6E 6D    65 6E 76 69 72 6F 6E 6D
00 00 00 00 00 00 00 00    65 6E 74 20 61 6E 64 20    65 6E 74 20 61 6E 64 20
00 00 00 00 00 00 00 00    64 65 76 65 6C 6F 70 6D    64 65 76 65 6C 6F 70 6D
00 00 00 00 00 00 00 00    65 6E 74 2C 20 53 74 61    65 6E 74 2C 20 53 74 61
00 00 00 00 00 00 00 00                               00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00                               00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00                               00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00                               00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00                               00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00                               00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00                               00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00                               00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00                               00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00                               00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00                               00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00                               00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00                               00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00                               00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00                               00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00                               00 00 00 00 00 00 00 00
```

The Keccak-f permutation performs 12 + 2 * l rounds. For the selected state size l equals 6 which makes a total of 24 rounds. Each round consists of five step mappings which permute the state in different ways.

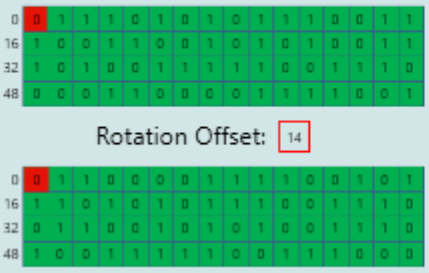
Theta iterates over each column of the state.

The parities of two nearby columns (turquoise and light green) are XORed. The result is XORed with each bit of the considered column (green).

Rho iterates over each lane of the state.

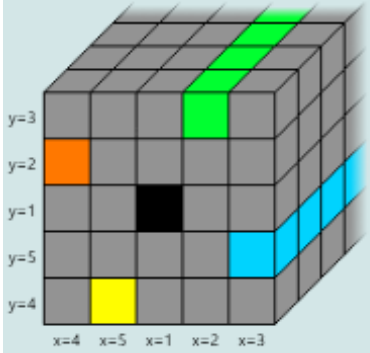


Each lane is right-rotated by a certain value (depicted in the red rectangle). The upper green block represents the lane before rotation, the lower green block represents the lane after rotation.

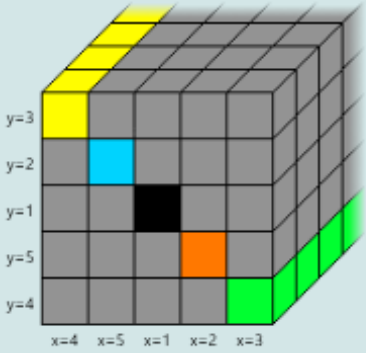


	x=1	x=2	x=3	x=4	x=5
y=1	0	1	62	28	27
y=2	36	44	6	55	20
y=3	3	10	43	25	39
y=4	41	45	15	21	8
y=5	18	2	61	56	14

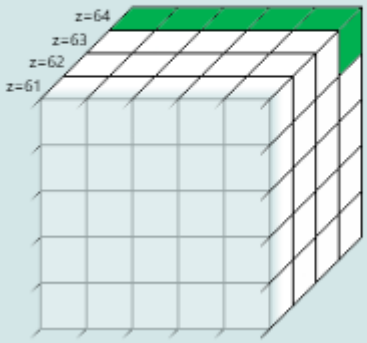
Pi permutes the positioning of the lanes within the state. The lane coordinates of the cube are shifted for improved visualization.



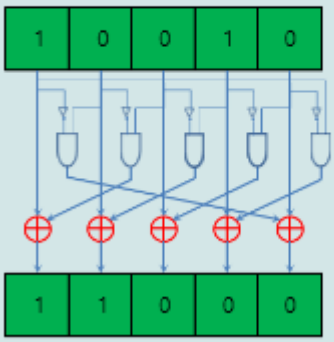
Every lane except the lane at x=1, y=1 (black) is moved to a different position. The right cube presents the new lane positions of the colored lanes. Already moved lanes are grayed out.

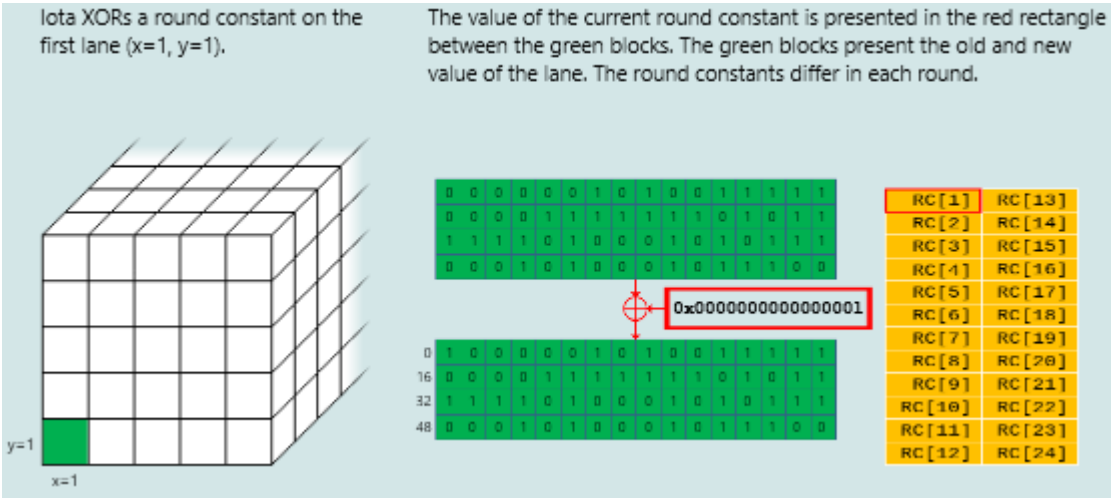


Chi iterates over each row of the state.

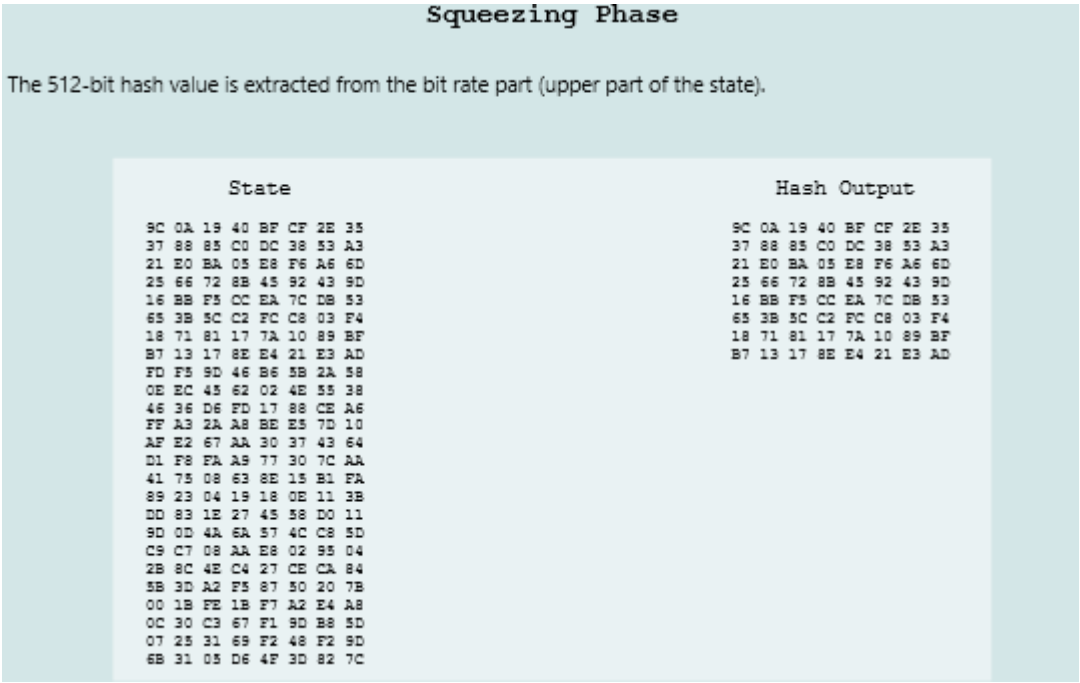


Each bit of a row is XORed with the logical conjunction of the two bits to the right of the considered bit. The first bit of those two bits is inverted before the logical conjunction.





Скриншот заключительного этапа:



Полученное значение дайджеста:

9C 0A 19 40 BF CF 2E 35 37 88 85 C0 DC 38 53 A3 21 E0 BA 05 E8 F6 A6 6D 25 66 72 8B 45 92 43 9D 16 BB F5 CC EA 7C DB 53 65 3B 5C C2 FC C8 03 F4 18 71 81 17 7A 10 89 BF B7 13 17 8E E4 21 E3 AD

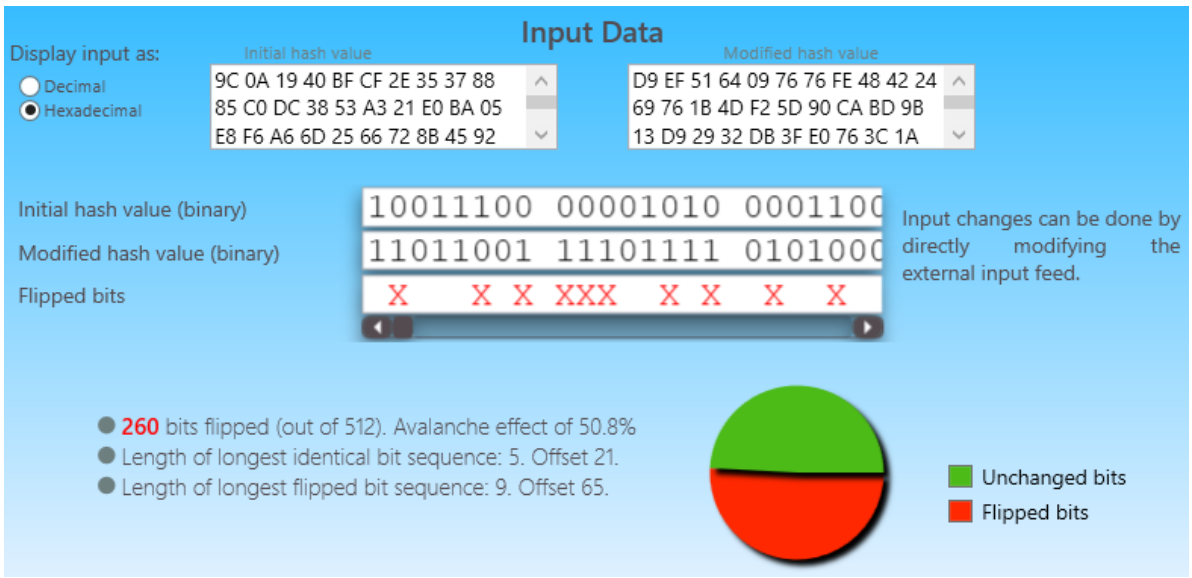
Вычисление лавинного эффекта для хэш-функции SHA-3.

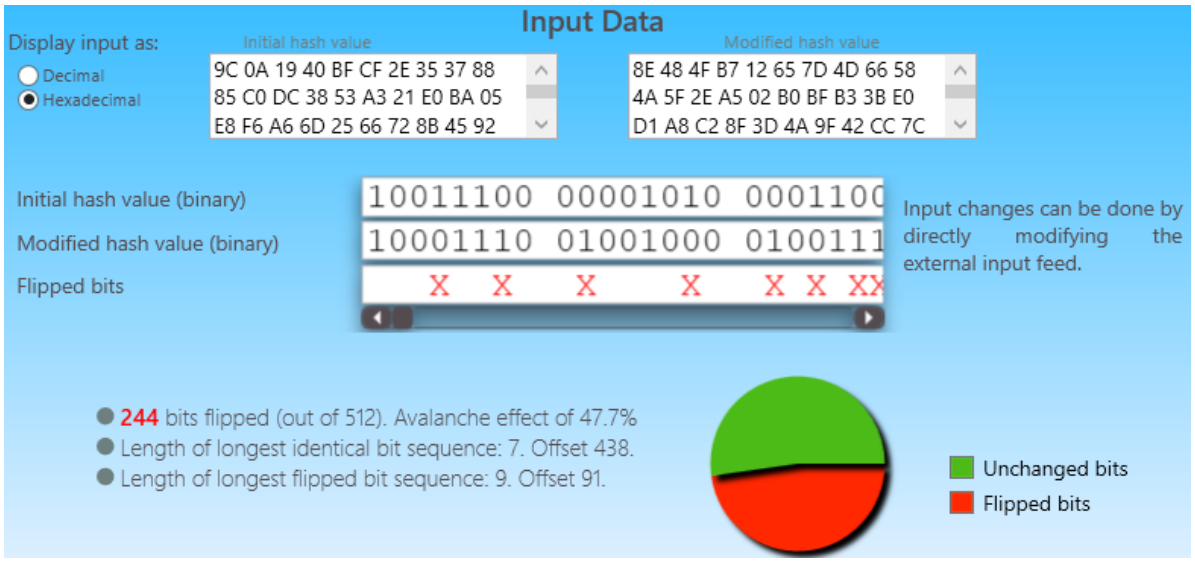
Далее для исходного текста были выполнены те же модификации, которые использовались в предыдущих пунктах для вычисления лавинного эффекта хэш-

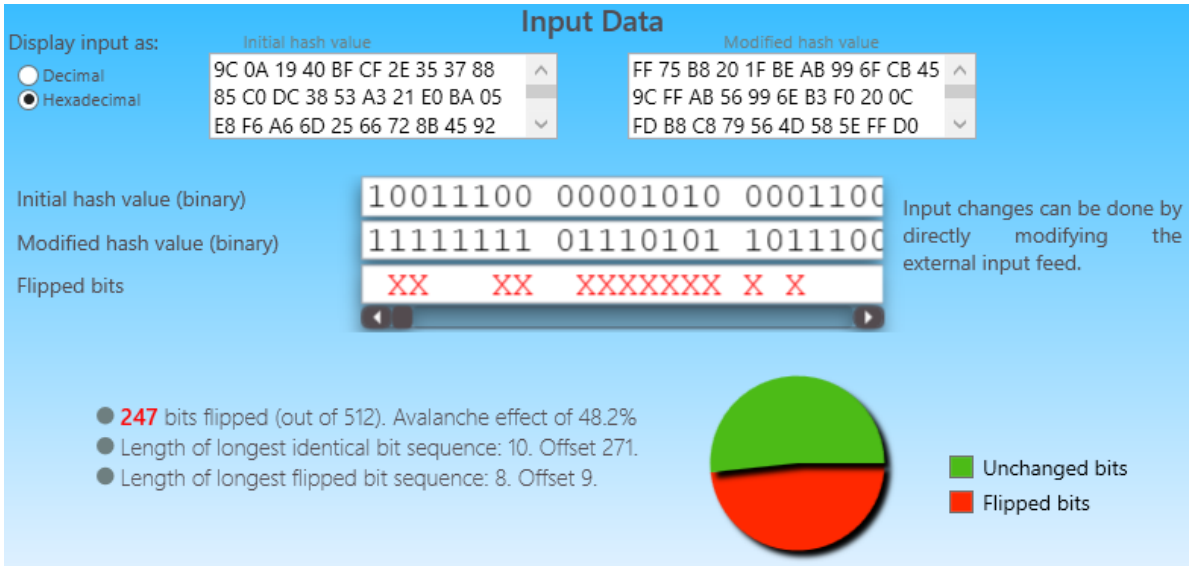
функций MD5, SHA-1, SHA-256, SHA-512. Для модифицированных текстов были вычислены дайджесты:

Изменение	Хэш SHA-3
Без изменений	9C 0A 19 40 BF CF 2E 35 37 88 85 C0 DC 38 53 A3 21 E0 BA 05 E8 F6 A6 6D 25 66 72 8B 45 92 43 9D 16 BB F5 CC EA 7C DB 53 65 3B 5C C2 FC C8 03 F4 18 71 81 17 7A 10 89 BF B7 13 17 8E E4 21 E3 AD
Добавление одного символа	FF 75 B8 20 1F BE AB 99 6F CB 45 9C FF AB 56 99 6E B3 F0 20 0C FD B8 C8 79 56 4D 58 5E FF D0 8F C5 19 F5 B7 BE 54 45 B9 95 D1 BA 69 9C 85 34 41 BC 81 46 CD 2B 2D C8 0A F5 BF 64 5B 0B 2E 59 2E
Изменение одного символа	8E 48 4F B7 12 65 7D 4D 66 58 4A 5F 2E A5 02 B0 BF B3 3B E0 D1 A8 C2 8F 3D 4A 9F 42 CC 7C C5 7E 59 3C 06 7F FF 0B E7 2F E0 5B 2E 63 B8 D9 12 35 D1 3A 48 0E C6 44 6D B9 95 BB C1 B7 CF A0 C4 EF
Удаление одного символа	D9 EF 51 64 09 76 76 FE 48 42 24 69 76 1B 4D F2 5D 90 CA BD 9B 13 D9 29 32 DB 3F E0 76 3C 1A 26 26 7A 97 40 47 2F 71 9C 3D 11 13 36 77 F5 DA 52 0F 38 F9 9B A9 55 0E 43 C6 70 54 BF 90 B4 25 91

Для полученных дайджестов было найдено количество измененных бит в хэше при добавлении/изменении/удалении одного символа исходного сообщения, а также вычислено среднее количество измененных бит хэша при помощи шаблона «Avalanche (Hash)»:


Input Data
Display input as:
Decimal
Hexadecimal
Initial hash value
9C 0A 19 40 BF CF 2E 35 37 88
85 C0 DC 38 53 A3 21 E0 BA 05
E8 F6 A6 6D 25 66 72 8B 45 92
Modified hash value
D9 EF 51 64 09 76 76 FE 48 42 24
69 76 1B 4D F2 5D 90 CA BD 9B
13 D9 29 32 DB 3F E0 76 3C 1A
Initial hash value (binary)
10011100 00001010 0001100
Modified hash value (binary)
11011001 11101111 0101000
Flipped bits
X X X XXX X X X X
Input changes can be done by directly modifying the external input feed.
260 bits flipped (out of 512). Avalanche effect of 50.8%
Length of longest identical bit sequence: 5. Offset 21.
Length of longest flipped bit sequence: 9. Offset 65.
Unchanged bits
Flipped bits


Input Data
Display input as:
Decimal
Hexadecimal
Initial hash value
9C 0A 19 40 BF CF 2E 35 37 88
85 C0 DC 38 53 A3 21 E0 BA 05
E8 F6 A6 6D 25 66 72 8B 45 92
Modified hash value
8E 48 4F B7 12 65 7D 4D 66 58
4A 5F 2E A5 02 B0 BF B3 3B E0
D1 A8 C2 8F 3D 4A 9F 42 CC 7C
Initial hash value (binary)
10011100 00001010 0001100
Modified hash value (binary)
10001110 01001000 0100111
Flipped bits
X X X X X X XX
Input changes can be done by directly modifying the external input feed.
244 bits flipped (out of 512). Avalanche effect of 47.7%
Length of longest identical bit sequence: 7. Offset 438.
Length of longest flipped bit sequence: 9. Offset 91.
Unchanged bits
Flipped bits


Input Data
Display input as:
Decimal
Hexadecimal
Initial hash value
9C 0A 19 40 BF CF 2E 35 37 88
85 C0 DC 38 53 A3 21 E0 BA 05
E8 F6 A6 6D 25 66 72 8B 45 92
Modified hash value
FF 75 B8 20 1F BE AB 99 6F CB 45
9C FF AB 56 99 6E B3 F0 20 0C
FD B8 C8 79 56 4D 58 5E FF D0
Initial hash value (binary)
10011100 00001010 0001100
Modified hash value (binary)
11111111 01110101 1011100
Flipped bits
XX XX XXXXXXX X X
Input changes can be done by directly modifying the external input feed.
247 bits flipped (out of 512). Avalanche effect of 48.2%
Length of longest identical bit sequence: 10. Offset 271.
Length of longest flipped bit sequence: 8. Offset 9.
Unchanged bits
Flipped bits

Хэш-функция	Изменение	Количество измененных бит хэша	Среднее количество измененных бит
SHA-3	Добавление одного символа	48.2% (247 из 512)	48.89% (250,33 из 512)
	Изменение одного символа	47.7% (244 из 512)	
	Удаление одного символа	50.8% (260 из 512)	

Как видно из результатов, при добавлении, изменении или удалении одного символа открытого текста среднее количество измененных бит хэша составляет около 49% от общего количества бит хэша.

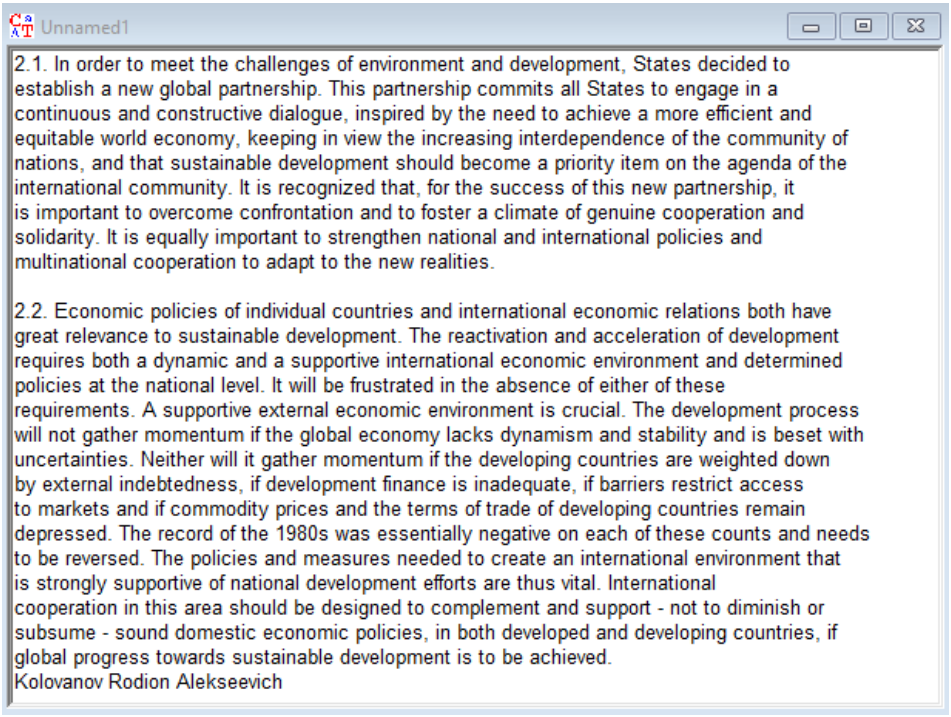
Контроль целостности по коду HMAC.

Задание.

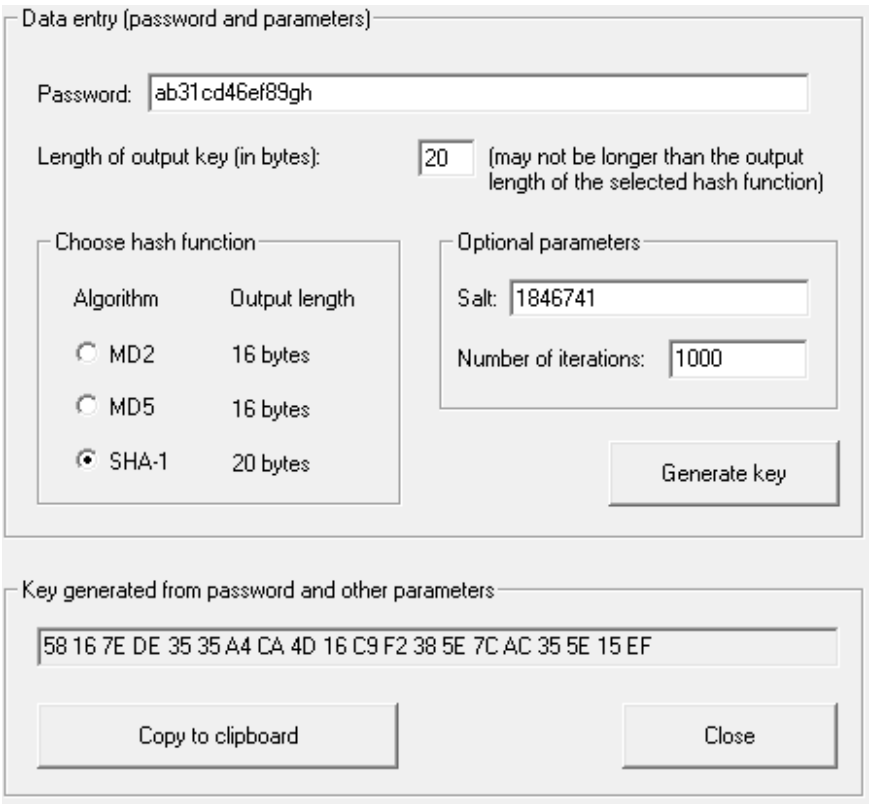
1. Выбрать текст на английском языке (не менее 1000 знаков), добавить собственное ФИО и сохранить в файле формата .TXT;
2. Придумать пароль и сгенерировать секретный ключ утилитой Indiv.Procedures -> Hash -> Key Generation из Cryptool 1. Сохранить ключ в файле формата .TXT. Прочитать Help к этой утилите;
3. Сгенерировать HMAC для имеющегося текста и ключа с помощью утилиты Indiv.Procedures -> Hash -> Generation of HMACs. Сохранить HMAC в файле формата .TXT. Прочитать Help к этой утилите;
4. Передать пароль, HMAC (и его характеристики), исходный текст и модифицированный текст коллеге, не раскрывая, какой текст является корректным. Попросите коллегу определить это самостоятельно.

Контроль целостности по коду HMAC.

В качестве исходного текста был взят следующий текст, в конец которого была добавлена строка «Kolovanov Rodion Alekseevich»:

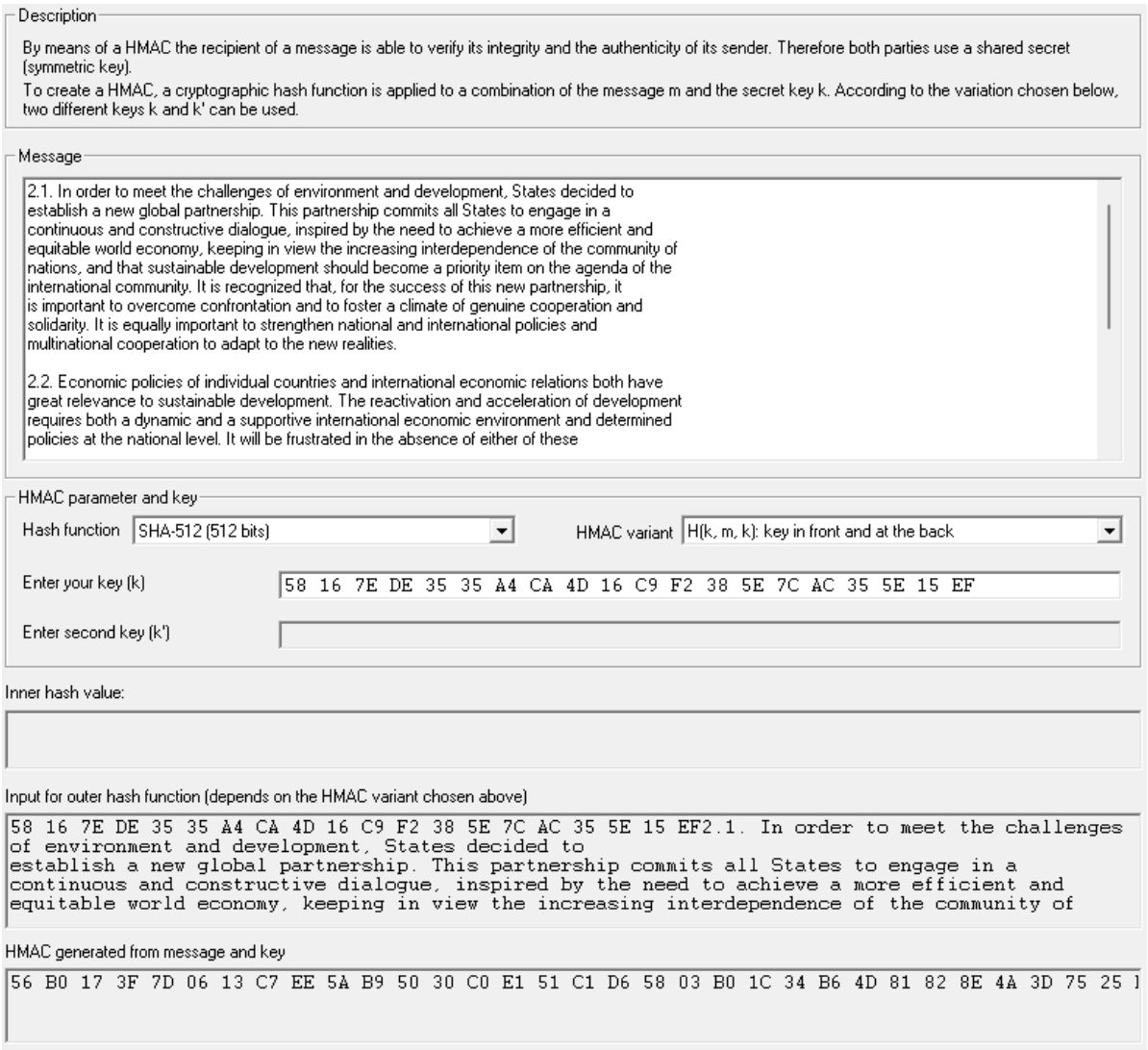


Далее при помощи утилиты Indiv.Procedures -> Hash -> Key Generation по паролю «ab31cd46ef89gh» был сгенерирован секретный ключ:



Сгенерированный секретный ключ: 58 16 7E DE 35 35 A4 CA 4D 16 C9 F2 38 5E 7C AC 35 5E 15 EF.

Далее при помощи утилиты Indiv.Procedures -> Hash -> Generation of HMACs для исходного текста и ключа был сгенерирован HMAC:



Сгенерированный HMAC: 56 B0 17 3F 7D 06 13 C7 EE 5A B9 50 30 C0 E1 51 C1 D6 58 03 B0 1C 34 B6 4D 81 82 8E 4A 3D 75 25 D1 46 30 75 92 EF EE 42 CF C0 A2 3D 1B B7 F5 8B 74 E7 2D 86 F2 B6 2B A1 4C 28 EB 49 87 24 90 CC.

От коллеги была получена следующая информация:

Информация	Значение
Текст 1	HMAC (Hash-based Message Authentication Code) is a type of a message authentication code (MAC) that is acquired by executing a cryptographic hash function on the data (that is) to be authenticated and a secret shared key. Like

	any of the MAC, it is used for both data integrity and authentication. Checking data integrity is necessary for the parties involved in communication. HTTPS, SFTP, FTPS, and other transfer protocols use HMAC. The cryptographic hash function may be MD-5, SHA-1, or SHA-256. Digital signatures are nearly similar to HMACs i.e they both employ a hash function and a shared key. The difference lies in the keys i.e HMACs use symmetric key(same copy) while Signatures use asymmetric (two different keys). Processes and decisions pertinent to business are greatly dependent on integrity. If attackers tamper this data, it may affect the processes and business decisions. So while working online over the internet, care must be taken to ensure integrity or least know if the data is changed. That is when HMAC comes into use. Ptichkin Sergey Alekseevich.
Текст 2	HMAC (Hash-based Message Authentication Code) is a type of a message authentication code (MAC) that is acquired by executing a cryptographic hash function on the data (that is) to be authenticated and a secret shared key. Like any of the MAC, it is used for both data integrity and authentication. Checking data integrity is necessary for the parties involved in communication. HTTP, FTP, and other transfer protocols use HMAC. The cryptographic hash function may be MD-11, SHA-3, or SHA-1024. Digital signatures are nearly similar to HMACs i.e they both employ a hash function and a shared key. The difference lies in the keys i.e HMACs use asymmetric key(same copy) while Signatures use symmetric (three different keys). Processes and decisions pertinent to business are greatly dependent on integrity. If attackers tamper this data, it may affect the processes and business decisions. So while working online over the internet, care must be taken to ensure integrity or least know if the data is changed. That is when MAC comes into use. Ptichkin Sergey Alekseevich.
Пароль	mjf8q923jrjr8945
Параметры генерации ключа	Соль: 265006334, количество итераций: 1000, хэш-функция: SHA-1.
HMAC	15 F0 B5 02 86 B4 93 8D 8F 24 54 64 0A 2F 8D 37 0C 62 A7 1C DB DD C7 3B 21 DE 68 03 03 7B 88 E7
Параметры генерации HMAC	Хэш-функция: SHA-256, тип H(m, k)

Для обоих текстов по полученному паролю и характеристикам HMAC был вычислен HMAC.

HMAC для текста 1: 15 F0 B5 02 86 B4 93 8D 8F 24 54 64 0A 2F 8D 37 0C 62 A7 1C DB DD C7 3B 21 DE 68 03 03 7B 88 E7

HMAC для текста 2: AB BA 58 8E BA E2 B5 CF AA 11 8C 96 C0 4C 3E 98 78 00 F4 EC 02 61 10 6A 97 01 99 00 21 B0 0D 45

HMAC для текста 1 совпадает с полученным от коллеги HMAC, поэтому текст 1 является исходным, а текст 2 – модифицированным.

Атака дополнительной коллизии на хэш-функцию.

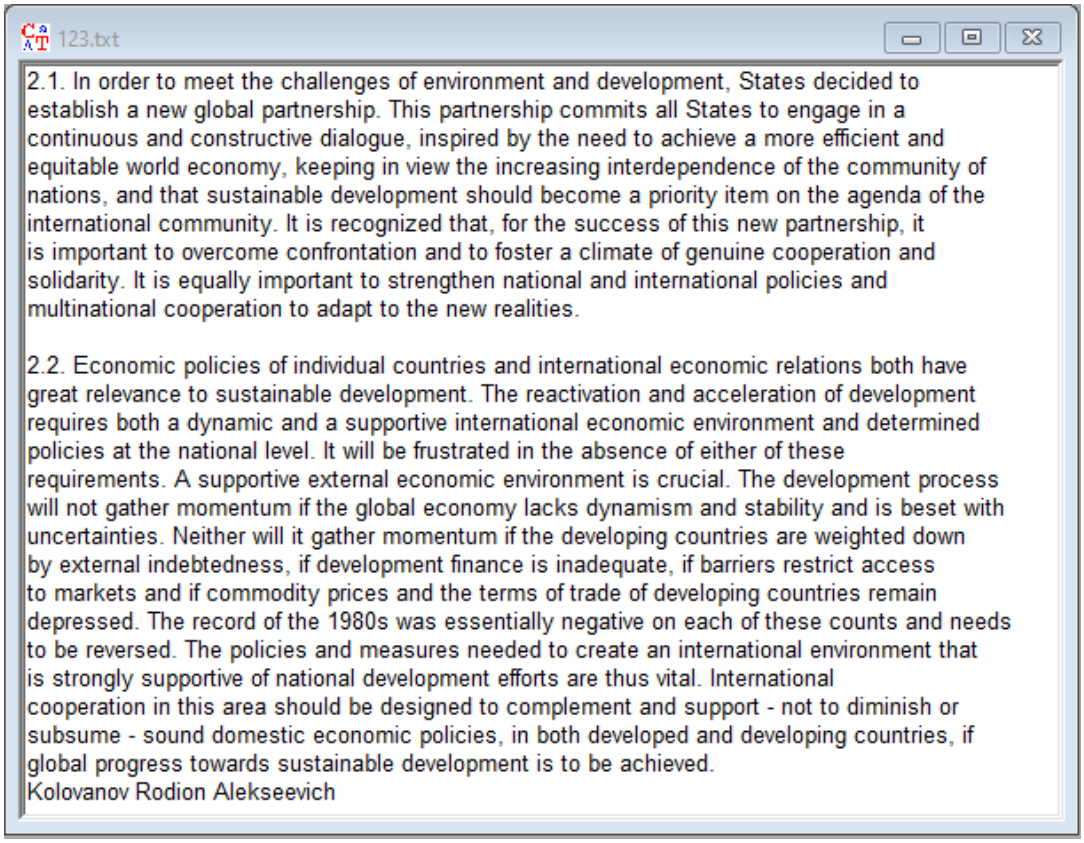
Задание.

1. Сформировать два текста на английском языке - один истинный, а другой фальсифицированный. Сохранить тексты в файлах формата *.txt;
2. Утилитой Analysis -> Attack on the hash value произвести модификацию сообщений для получения одинакового дайджеста. В качестве метода модификации выбрать Attach characters -> Printable characters;
3. Проверить, что дайджесты сообщений действительно совпадают с заданной точностью;
4. Сохранить исходные тексты, итоговые тексты и статистику атаки для отчета;
5. Зафиксировать временную сложность атаки для 8, 16, 32,40, 48, … бит совпадающих частей дайджестов.

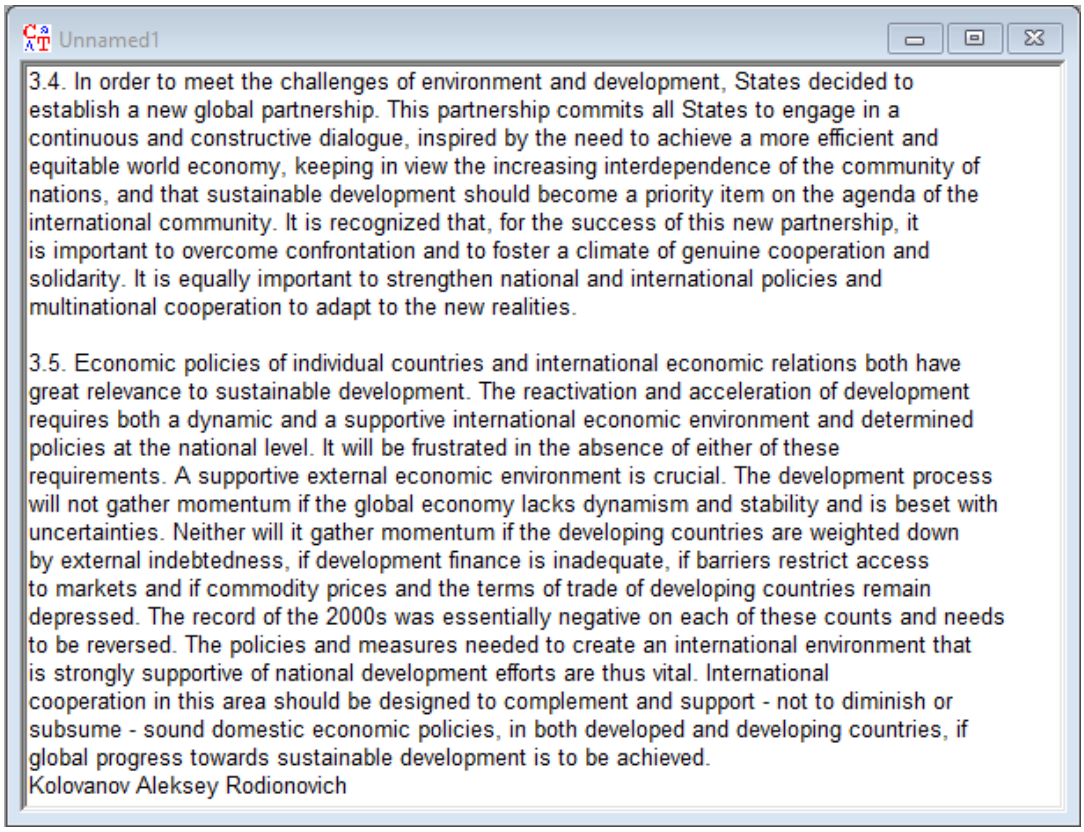
Атака дополнительной коллизии на хэш-функцию.

Для начала были сформированы два текста: один – истинный, другой – фальсифицированный.

Истинный текст:



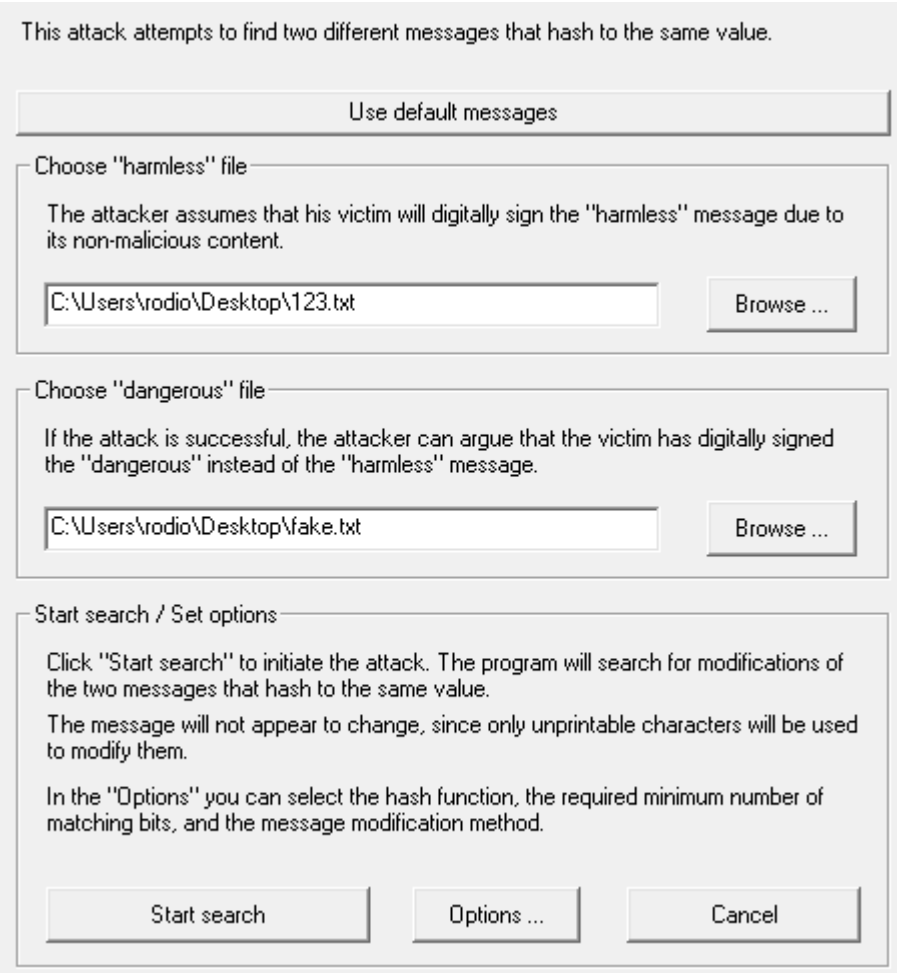
Фальсифицированный текст:



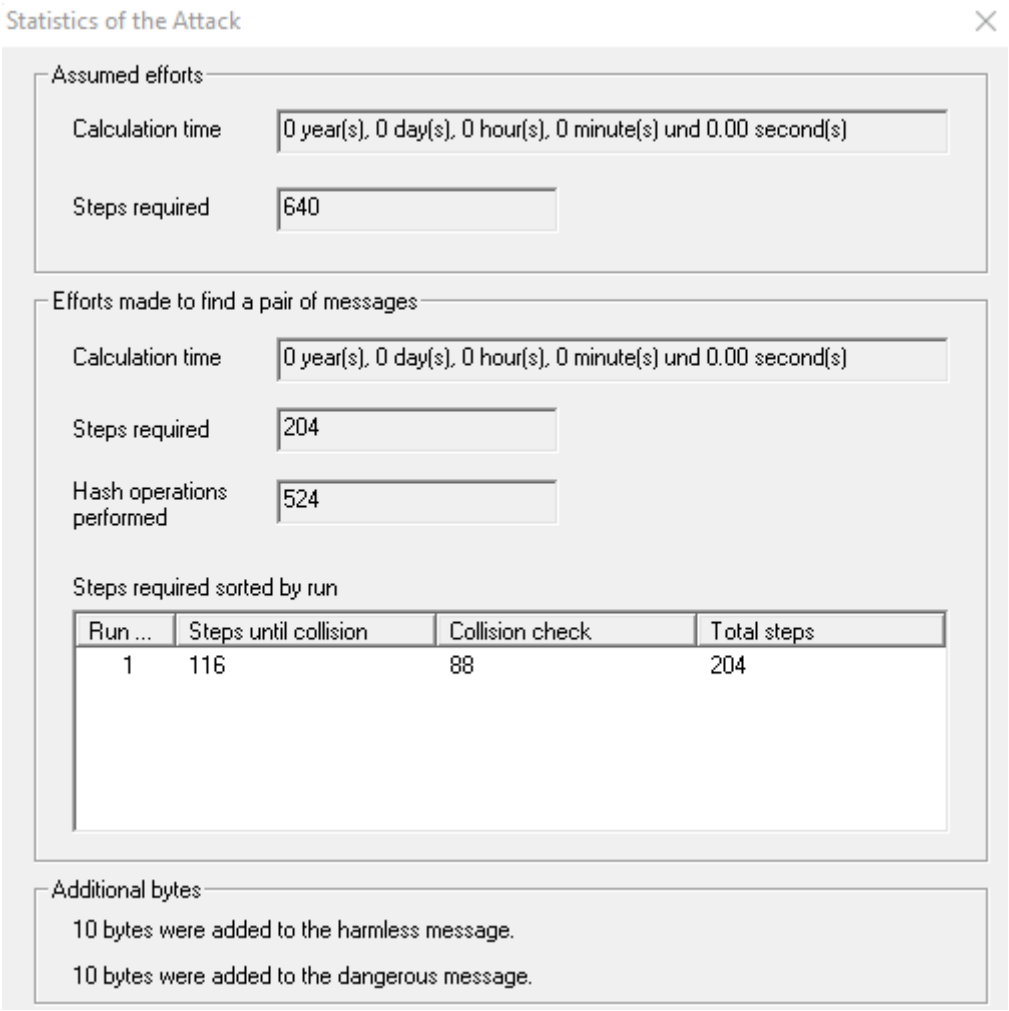
SHA-1 хэш для исходного сообщения: A7 A0 5B 84 02 AD 22 4B 70 C0 65 80 4F A5 F4 7B 5F 46 62 E4.

SHA-1 хэш для фальсифицированного сообщения: 86 BF 48 C3 90 6F 6B 65 F8 40 A8 D5 59 3D D6 03 68 05 01 C5.

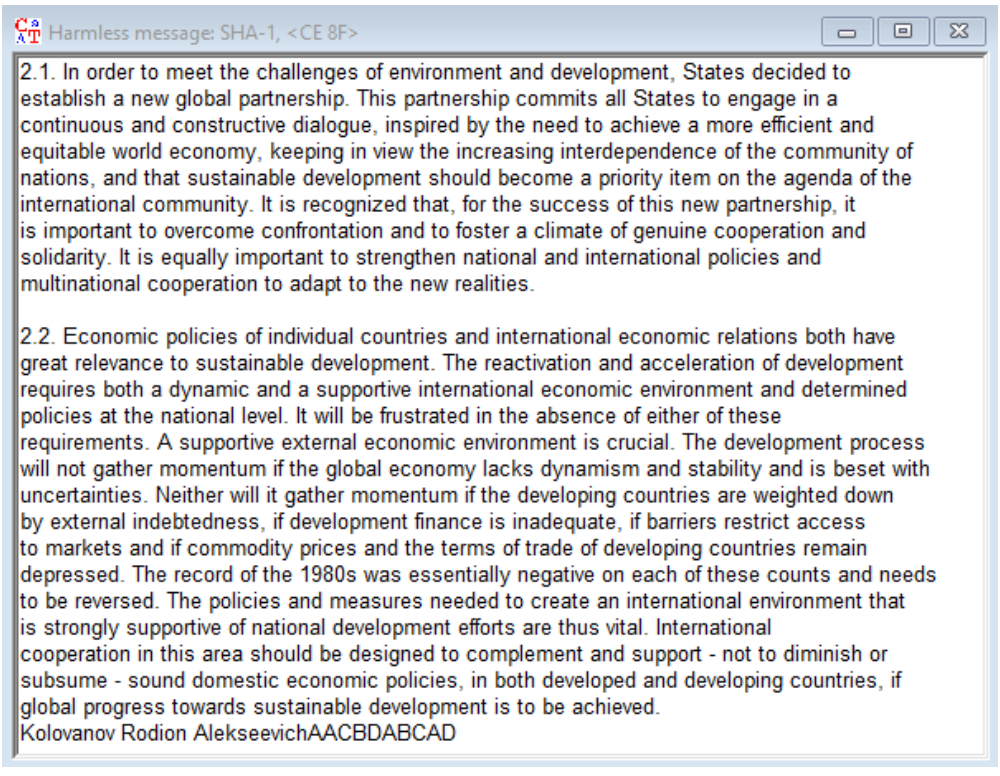
Далее при помощи утилиты Analysis -> Hash -> Attack on the hash value была произведена модификация сообщений для получения одинакового дайджеста:

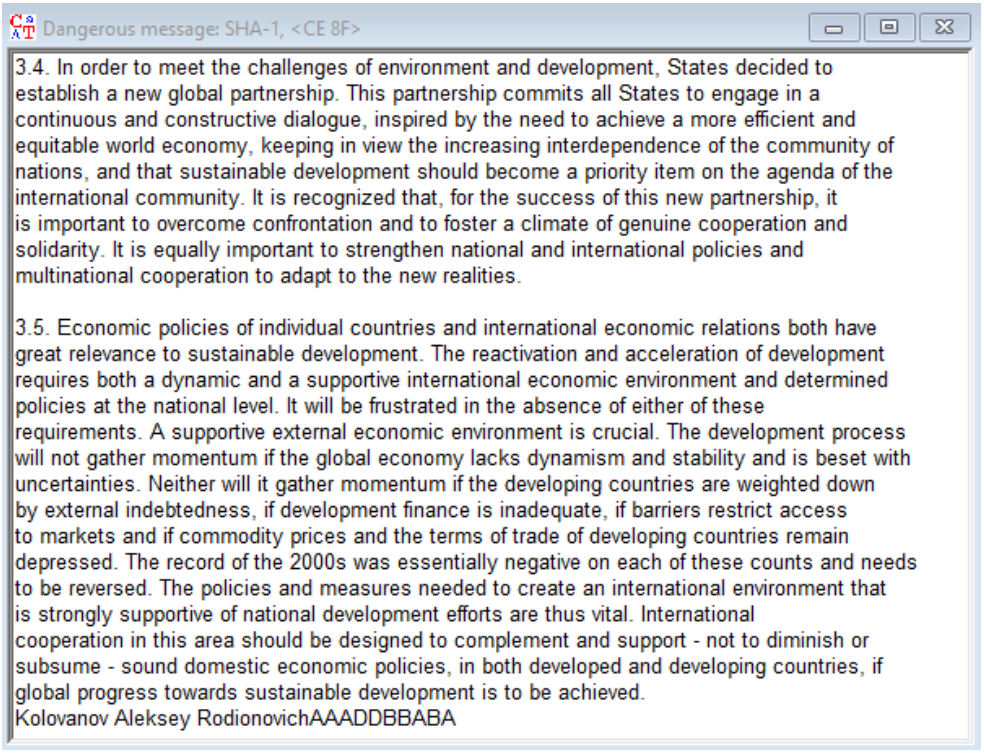


Статистика атаки:



Полученные итоговые тексты:





SHA-1 хэш для исходного сообщения после атаки: CE 8F B3 F1 AC 88 A9 9D D3 35 F8 0B 9E EE CB EB 04 B0 2A 05.

SHA-1 хэш для фальсифицированного сообщения после атаки: CE 8F FB 71 EF 7E 48 BC 50 AA F1 66 AC 45 0D E5 84 9B 94 C9.

Видно, что первые два байта (16 бит) хэша совпадают с заданной точностью (16 бит), отсюда атака прошла успешно.

Далее зафиксируем временную сложность атаки при различном количестве совпадающих частей хэша:

Количество бит	Время атаки
8	0 секунд
16	0 секунд
24	0,1 секунда
32	1,72 секунды
40	27,56 секунд
48	3 минуты 7,21 секунд
56	~ 1 час 30 минут

64	~ 23 часа
72	~ 15,9 дней
80	~ 256 дней
88	~ 11 лет
96	~ 180 лет
104	~ 2900 лет
112	~ 46000 лет
120	~ $7,5 * 10^5$ лет

Выводы.

В ходе выполнения данной лабораторной работы были исследованы хэш-функции MD5, SHA-256, SHA-512, SHA-3 и код контроля целостности HMAC, а также была проанализирована атака дополнительной коллизии на хэш-функцию.

1. Лавинный эффект хэш-функций MD5, SHA-1, SHA-256, SHA-512:
    a. При помощи инструментария CrypTool 1 был изучен лавинный эффект для хэш-функций MD5, SHA-1, SHA-256, SHA-512. Было определено, что добавление, замена или удаление одного символа в исходном тексте приводит к изменению в среднем 51% битов дайджеста для всех хэш-функций. Отсюда рассмотренные хэш-функции обладают лавинным эффектом.
2. Хэш-функция SHA-3:
    a. При помощи демонстрационного примера была рассмотрена работа хэш-функции SHA-3. Было определено, что в основе SHA-3 лежит конструкция «Губка», алгоритм которой состоит из двух этапов: впитывание и отжатие. На этапе впитывания очередные блоки сообщения подмешиваются к части внутреннего состояния, а на этапе отжатия извлекаются очередные части дайджеста. На каждой итерации применяется многораундовая бесключевая псевдослучайная перестановка, которая может выбирается пользователем из набора предопределенных функций. В рассматриваемом SHA-3 используется функция f-1600, размер дайджеста составляет 512 бит, размер блока сообщения составляет 576 бит, размер внутреннего состояния составляет 1600 бит, а количество раундов равно 24.
    b. При помощи инструментария CrypTool 2 был изучен лавинный эффект для хэш-функции SHA-3. Было определено, что добавление, замена или удаление одного символа в исходном тексте приводит к изменению в среднем 49% битов дайджеста. Отсюда хэш-функция SHA-3 обладает лавинным эффектом.

3. Контроль целостности по коду HMAC:
    a. Был рассмотрен механизм для проверки целостности HMAC, позволяющий гарантировать то, что данные, передаваемые или хранящиеся в ненадёжной среде, не были изменены посторонними лицами. Вычисление кода HMAC осуществляется по формуле $HMAC_K(text) = H((K \oplus opad) \| H((K \oplus ipad) \| text))$, где K – секретный ключ, opad и ipad – определенные константы, а text – исходный текст.
    b. При помощи известной информации о пароле, HMAC и методе генерации ключа и HMAC, была осуществлена проверка целостности двух сообщений, полученных от коллеги. В результате было выявлено, что одно из сообщений было модифицировано.
4. Атака дополнительной коллизии на хэш-функцию:
    a. Была проведена атака дополнительной коллизии на хэш-функцию SHA-1. Размер дайджеста для хэш-функции SHA-1 составляет 160 бит. Было определено, что получение коллизии части дайджеста размером до 48 бит занимает относительно мало времени (около пары минут). Для получения коллизии части дайджеста размером свыше 48 бит временная сложность атаки значительно растет, и для получения коллизии части дайджеста размером 96 бит временная сложность атаки составляет около 180 лет. Это подтверждает, что атака дополнительной коллизии имеет экспоненциальную сложность.

Были получены практические навыки работы с рассматриваемыми хэш-функциями и атакой на них с использованием приложения CrypTool 1 и 2.