МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

Інститут **КНІТ**
Кафедра **ПЗ**

ЗВІТ

До лабораторної роботи №3
З дисципліни: *"Безпека програм та даних"*
На тему: *"Створення програмного засобу для забезпечення конфіденційності інформації"*

Лектор:
доцент каф. ПЗ
Сенів М. М.

Виконав:
ст. гр. ПЗ-43
Лесневич Є. Є.

Прийняв:
ст. викладач каф. ПЗ
Угриновський Б. В.

«_____»_____2024 р.

∑=_____ .....

Львів – 2024

Тема роботи: створення програмного засобу для забезпечення конфіденційності інформації.

Мета роботи: ознайомитись з методами криптографічного забезпечення конфіденційності інформації, навчитись створювати комплексні програмні продукти для захисту інформації з використанням алгоритмів симетричного шифрування, хешування та генераторів псевдовипадкових чисел.

Теоретичні відомості

RC5 – це алгоритм симетричного шифрування, розроблений Роном Райвестом в середині 90-х років. При розробці RC5 ставилась задача досягнення наступних характеристик.

- Придатність для апаратної та програмної реалізації. В RC5 використовуються тільки елементарні обчислювальні операції, які зазвичай застосовуються в мікропроцесорах.
- Швидкість виконання. RC5 є простим алгоритмом, що працює з даними розміром в машинне слово. Усі основні операції передбачають також роботу з даними довжиною в слово.
- Адаптованість до процесорів з різною довжиною слова. Довжина слова в бітах є параметром RC5 – при зміні довжини слова змінюється сам алгоритм.
- Змінна кількість раундів. Кількість раундів є другим параметром RC5. Цей параметр дозволяє вибрати оптимальне співвідношення необхідної швидкості роботи і вимог до ступеня захисту.
- Змінна довжина ключа. Довжина ключа є третім параметром RC5. Як і в попередньому випадку, цей параметр дозволяє знайти прийнятний компроміс між швидкістю роботи та необхідним рівнем безпеки.
- Простота. Структура RC5 дуже проста не тільки для реалізації, але й для оцінки її криптоаналітичної стійкості.
- Низькі вимоги до пам'яті. Низькі вимоги до пам'яті роблять RC5 придатним для використання в смарт-картах та інших подібних пристроях з обмеженим об'ємом пам'яті.
- Високий ступінь захисту. RC5 покликаний забезпечити високий ступінь захисту за умови вибору відповідних значень параметрів. 17
- Залежність циклічних зсувів від даних. В RC5 використовуються циклічні зсуви, величина яких залежить від даних, що повинно підвищувати криптоаналітичну стійкість алгоритму.

Алгоритм RC5 вбудований в багатьох основних продуктах компанії RSA Data Security Inc., включаючи BSAFE, JSAFE та S/MAIL.

Завдання до виконання роботи

Згідно до варіанту, наведеного в таблиці, створити прикладну програму для шифрування інформації за алгоритмом RC5.

Програма повинна отримувати від користувача парольну фразу і, на її основі, шифрувати файли довільного розміру, а результат зберігати у вигляді файлу з можливістю подальшого дешифрування (при введенні тієї самої парольної фрази).

Для перетворення парольної фрази у ключ шифрування використати алгоритм MD5, реалізований в лабораторній роботі № 2 – ключем шифрування повинен бути хеш парольної фрази. Якщо згідно варіанту довжина ключа становить 64 біти, беруться молодші 64 біти хешу; якщо довжина ключа повинна бути 256 бітів, то хеш парольної фрази стає старшими 128 бітами, а молодшими є хеш від старших 128 бітів (тобто, позначивши парольну фразу через P, отримаємо K=H(H(P))||H(P)). Для забезпечення можливості роботи створеного програмного продукту з відкритим текстом довільної довжини, програмну реалізацію здійснити в режимі RC5-CBC-Pad. В якості вектора ініціалізації (IV) використати генератор псевдовипадкових чисел, реалізований в лабораторній роботі № 1. Для кожного нового шифрованого повідомлення слід генерувати новий вектор ініціалізації. Вектор ініціалізації зашифровується в режимі ECB і зберігається в першому блоці зашифрованого файлу.

У звіті навести протокол роботи програми та зробити висновки про поєднання різних криптографічних примітивів для задач захисту інформації.

Індивідуальне завдання

Варіант 10

№ варіанту	*Довжина слова (w)*, біт	*Кількість раундів (r)*	*Довжина ключа (b)*, байт
1.	16	8	16
2.	32	12	16
3.	64	16	32
4.	16	20	16
5.	32	8	32
6.	64	12	8
7.	16	16	8
8.	32	20	16
9.	64	8	32
10.	16	12	16
11.	32	16	8
12.	64	20	16
13.	16	8	32
14.	32	12	32
15.	64	16	16
16.	16	20	8
17.	32	8	8
18.	64	12	16
19.	16	16	32
20.	32	20	32
21.	64	8	16
22.	16	12	8
23.	32	16	32
24.	64	20	8
25.	16	8	8

Рис. 1 Індивідуальне завдання

Код аглоритму

```
namespace Lab01GUI.Services.Implementation;

using Interfaces;
using System;
using System.Text;

public class RC5_CBC_PadService
{
	private readonly IMD5Service _md5;
	private readonly IRandomNumberGeneratorService _pseudoRandomGenerator;

	private readonly int _wordLengthInBytes;
	private readonly int _wordLengthInBits;
	private readonly ulong _wordBytesUsage;
	private readonly ulong _arrP;
	private readonly ulong _arrQ;
	private readonly int _numberOfRounds;
	private readonly int _secretKeyLengthInBytes;
	private ulong[] _s;

	public RC5_CBC_PadService(WordLength wordLength, int numberOfRounds, int secretKeyLengthInBytes)
	{
		_md5 = new MD5Service();
		_pseudoRandomGenerator = new RandomNumberGeneratorService();

		_wordLengthInBits = wordLength.Length;
		_wordLengthInBytes = wordLength.Length / 8;
		_wordBytesUsage = wordLength.BytesUsage;
		_arrP = wordLength.P;
		_arrQ = wordLength.Q;
		_numberOfRounds = numberOfRounds;
		_secretKeyLengthInBytes = secretKeyLengthInBytes;
		_s = [];
	}

	public byte[] Encrypt(byte[] message, string password)
	{
		_s = GenerateArrayS(password);

		byte[] extendedMessage = AddMessagePadding(message);

		ulong[] words = SplitArrayToWords(extendedMessage);
		byte[] result = new byte[_wordLengthInBytes * 2 + extendedMessage.Length];

		// Calculate IV
		ulong[] iv = GenerateIv();
		byte[] ivArr = new byte[_wordLengthInBytes * 2];
		Array.Copy(UlongToByteArray(iv[0]), 0, ivArr, 0, _wordLengthInBytes);
		Array.Copy(UlongToByteArray(iv[1]), 0, ivArr, _wordLengthInBytes, _wordLengthInBytes);
		byte[] encryptedIv = EncryptEcb(ivArr);
		Array.Copy(encryptedIv, 0, result, 0, encryptedIv.Length);

		ulong preA = iv[0];
		ulong preB = iv[1];

		for (int i = 0; i < words.Length; i += 2)
		{
			ulong wordA = words[i] ^ preA;
			ulong wordB = words[i + 1] ^ preB;

			ulong[] twoWordsEncrypted = EncryptTwoWords(wordA, wordB);

			Array.Copy(UlongToByteArray(twoWordsEncrypted[0]), 0, result, ivArr.Length + i * _wordLengthInBytes,
_wordLengthInBytes);
			Array.Copy(UlongToByteArray(twoWordsEncrypted[1]), 0, result, ivArr.Length + (i + 1) * _wordLengthInBytes,
_wordLengthInBytes);

			preA = twoWordsEncrypted[0];
			preB = twoWordsEncrypted[1];
		}

		return result;
	}

	public byte[] Decrypt(byte[] message, string password)
	{
		_s = GenerateArrayS(password);

		// Calculate IV
		byte[] ivArr = new byte[_wordLengthInBytes * 2];
		Array.Copy(message, 0, ivArr, 0, ivArr.Length);
		byte[] decryptedIv = DecryptEcb(ivArr);
		byte[] ivA = new byte[_wordLengthInBytes];
		byte[] ivB = new byte[_wordLengthInBytes];
		Array.Copy(decryptedIv, 0, ivA, 0, _wordLengthInBytes);
		Array.Copy(decryptedIv, _wordLengthInBytes, ivB, 0, _wordLengthInBytes);

		ulong preA = ByteArrayToUlong(ivA);
		ulong preB = ByteArrayToUlong(ivB);

		// Resolve message
		byte[] messageWithoutIv = new byte[message.Length - _wordLengthInBytes * 2];
		Array.Copy(message, _wordLengthInBytes * 2, messageWithoutIv, 0, message.Length - _wordLengthInBytes * 2);

		int extendedMessageLength = (messageWithoutIv.Length / _wordLengthInBytes + messageWithoutIv.Length %
_wordLengthInBytes);
		extendedMessageLength += extendedMessageLength % 2;
		extendedMessageLength *= _wordLengthInBytes;
```

```
                byte[] extendedMessage = new byte[extendedMessageLength];
                Array.Copy(messageWithoutIv, 0, extendedMessage, 0, messageWithoutIv.Length);

                ulong[] words = SplitArrayToWords(extendedMessage);
                byte[] result = new byte[extendedMessage.Length];

                for (int i = 0; i < words.Length; i += 2)
                {
                        ulong[] twoWordsDecrypted = DecryptTwoWords(words[i], words[i + 1]);

                        twoWordsDecrypted[0] ^= preA;
                        twoWordsDecrypted[1] ^= preB;

                        Array.Copy(UlongToByteArray(twoWordsDecrypted[0]), 0, result, i * _wordLengthInBytes, _wordLengthInBytes);
                        Array.Copy(UlongToByteArray(twoWordsDecrypted[1]), 0, result, (i + 1) * _wordLengthInBytes,
_wordLengthInBytes);

                        preA = words[i];
                        preB = words[i + 1];
                }

                return RemoveMessagePadding(result);
        }

        #region SecretKeyGen
        private ulong[] GenerateArrayS(string password)
        {
                byte[] arrK = GenerateSecretKey(password);
                ulong[] arrL = SplitArrayToWords(arrK);
                ulong[] arrS = InitArrayS();

                int i = 0;
                int j = 0;
                ulong a = 0;
                ulong b = 0;
                int t = Math.Max(arrL.Length, 2 * _numberOfRounds + 2);

                // Mix L and S arrays
                for (int s = 1; s < t * 3; s++)
                {
                        arrS[i] = ((arrS[i] + a + b) << 3) & _wordBytesUsage;
                        a = arrS[i];
                        i = (i + 1) % t;

                        arrL[j] = ((arrL[j] + a + b) << (int)(a + b)) & _wordBytesUsage;
                        b = arrL[j];
                        j = (j + 1) % arrL.Length;
                }

                return arrS;
        }

        private byte[] GenerateSecretKey(string password)
        {
                byte[] result = new byte[_secretKeyLengthInBytes];
                byte[] passwordHash = _md5.GetHash(Encoding.UTF8.GetBytes(password));

                if (_secretKeyLengthInBytes == 8)
                {
                        Array.Copy(passwordHash, passwordHash.Length - _secretKeyLengthInBytes, result, 0, _secretKeyLengthInBytes);
                }
                else if (_secretKeyLengthInBytes == 16)
                {
                        result = passwordHash;
                }
                else if (_secretKeyLengthInBytes == 32)
                {
                        Array.Copy(passwordHash, 0, result, 0, _secretKeyLengthInBytes);
                        Array.Copy(_md5.GetHash(passwordHash), 0, result, passwordHash.Length, _secretKeyLengthInBytes);
                }
                else if (passwordHash.Length > _secretKeyLengthInBytes)
                {
                        Array.Copy(passwordHash, passwordHash.Length - _secretKeyLengthInBytes, result, 0, _secretKeyLengthInBytes);
                }
                else if (passwordHash.Length < _secretKeyLengthInBytes)
                {
                        for (int i = 0; i < _secretKeyLengthInBytes / passwordHash.Length + _secretKeyLengthInBytes %
passwordHash.Length; i++)
                        {
                                Array.Copy(passwordHash, 0, result, _secretKeyLengthInBytes - (i + 1) * passwordHash.Length,
                                        Math.Min(_secretKeyLengthInBytes - (i + 1) * passwordHash.Length, passwordHash.Length));
                                passwordHash = _md5.GetHash(passwordHash);
                        }
                }

                return result;
        }

#endregion

        #region HelperMethods
        private ulong[] SplitArrayToWords(byte[] byteArray)
        {
                int numberOfWords = byteArray.Length / _wordLengthInBytes + byteArray.Length % _wordLengthInBytes;
                ulong[] wordList = new ulong[numberOfWords];

                for (int i = 0; i < numberOfWords; ++i)
                {
                        int offset = i * _wordLengthInBytes;
                        int numberOfBytes = Math.Min(_wordLengthInBytes, byteArray.Length - offset);
```

```
                    byte[] value = new byte[_wordLengthInBytes];
                    Array.Copy(byteArray, offset, value, 0, numberOfBytes);

                    wordList[i] = ByteArrayToUlong(value);
          }

          return wordList;
}

private ulong ByteArrayToUlong(byte[] byteArray)
{
          ulong value = 0L;
          int offset = 0;

          foreach (byte b in byteArray)
          {
                    value += (ulong)(b & 0xFF) << offset;
                    offset += 8;
          }

          return value;
}

private byte[] UlongToByteArray(ulong value)
{
          byte[] byteArray = new byte[_wordLengthInBytes];

          for (int i = 0; i < byteArray.Length; i++)
          {
                    byteArray[i] = (byte)(value & 0xFF);
                    value >>= 8;
          }

          return byteArray;
}

private ulong[] InitArrayS()
{
          ulong[] arrS = new ulong[2 * _numberOfRounds + 2];

          // S[0]:=Pw
          arrS[0] = _arrP;

          // S[i]:=S[i-1]+Qw
          for (int i = 1; i < arrS.Length; i++)
          {
                    arrS[i] = (arrS[i - 1] + _arrQ) & _wordBytesUsage;
          }

          return arrS;
}

private byte[] AddMessagePadding(byte[] message)
{
          if (message.Length % (_wordLengthInBytes * 2) == 0)
          {
                    return [.. message];
          }

          int bytesToAdd = _wordLengthInBytes * 2 - message.Length % (_wordLengthInBytes * 2);
          byte[] result = new byte[message.Length + bytesToAdd];
          Array.Copy(message, 0, result, 0, message.Length);

          for (int i = 0; i < bytesToAdd; i++)
          {
                    result[message.Length + i] = (byte)bytesToAdd;
          }

          return result;
}

private byte[] RemoveMessagePadding(byte[] message)
{
          byte lastByte = message[^1];

          for (int i = 0; i < lastByte; i++)
          {
                    if (message[message.Length - 1 - i] != lastByte)
                    {
                              return message;
                    }
          }

          byte[] messageWithoutPadding = new byte[message.Length - lastByte];
          Array.Copy(message, 0, messageWithoutPadding, 0, messageWithoutPadding.Length);

          return messageWithoutPadding;
}

private ulong LoopLeftShift(ulong value, ulong bits)
{
          bits %= (uint)_wordLengthInBits;

          ulong copyValue = value;

          value <<= (int)bits;
          value &= _wordBytesUsage;

          copyValue >>= (int)((uint)_wordLengthInBits - bits);
          copyValue &= _wordBytesUsage;
```

```
                return value | copyValue;
        }

        private ulong LoopRightShift(ulong value, ulong bits)
        {
                bits %= (uint)_wordLengthInBits;

                ulong copyValue = value;

                value >>= (int)bits;
                value &= _wordBytesUsage;

                copyValue <<= (int)((uint)_wordLengthInBits - bits);
                copyValue &= _wordBytesUsage;

                return value | copyValue;
        }

        private ulong[] EncryptTwoWords(ulong a, ulong b)
        {
                a = (a + _s[0]) & _wordBytesUsage;
                b = (b + _s[1]) & _wordBytesUsage;

                // A:=((A⊞B)<<<B)+S[2i], B:=((B⊞A)<<<A)+S[2i+1]
                for (int i = 1; i <= _numberOfRounds; i++)
                {
                        a ^= b;
                        a = LoopLeftShift(a, b);
                        a = (a + _s[2 * i]) & _wordBytesUsage;

                        b ^= a;
                        b = LoopLeftShift(b, a);
                        b = (b + _s[2 * i + 1]) & _wordBytesUsage;
                }

                // C(A, B)
                return [a, b];
        }

        private ulong[] DecryptTwoWords(ulong a, ulong b)
        {
                // B:=((B-S[2i+1])>>>A)⊟A, A:=((A-S[2i])>>>B)⊟B
                for (int i = _numberOfRounds; i >= 1; i--)
                {
                        b = (b - _s[2 * i + 1]) & _wordBytesUsage;
                        b = LoopRightShift(b, a);
                        b ^= a;

                        a = (a - _s[2 * i]) & _wordBytesUsage;
                        a = LoopRightShift(a, b);
                        a ^= b;
                }

                // M:=(A-S[0],B-S[1])
                b = (b - _s[1]) & _wordBytesUsage;
                a = (a - _s[0]) & _wordBytesUsage;

                return [a, b];
        }

        private ulong[] GenerateIv() => [
                (ulong)_pseudoRandomGenerator.Next(),
                (ulong)_pseudoRandomGenerator.Next()
        ];

        #endregion

        #region ECB
        private byte[] EncryptEcb(byte[] message)
        {
                byte[] extendedMessage = AddMessagePadding(message);
                ulong[] words = SplitArrayToWords(extendedMessage);
                byte[] result = new byte[extendedMessage.Length];

                for (int i = 0; i < words.Length; i += 2)
                {
                        ulong wordA = words[i];
                        ulong wordB = words[i + 1];

                        ulong[] twoWordsEncrypted = EncryptTwoWords(wordA, wordB);

                        Array.Copy(UlongToByteArray(twoWordsEncrypted[0]), 0, result, i * _wordLengthInBytes, _wordLengthInBytes);
                        Array.Copy(UlongToByteArray(twoWordsEncrypted[1]), 0, result, (i + 1) * _wordLengthInBytes,
_wordLengthInBytes);
                }

                return result;
        }

        private byte[] DecryptEcb(byte[] message)
        {
                int extendedMessageLength = (message.Length / _wordLengthInBytes + message.Length % _wordLengthInBytes);
                extendedMessageLength += extendedMessageLength % 2;
                extendedMessageLength *= _wordLengthInBytes;

                byte[] extendedMessage = new byte[extendedMessageLength];
                Array.Copy(message, 0, extendedMessage, 0, message.Length);

                ulong[] words = SplitArrayToWords(extendedMessage);
                byte[] result = new byte[extendedMessage.Length];
```

```
                    for (int i = 0; i < words.Length; i += 2)
                    {
                              ulong[] twoWordsDecrypted = DecryptTwoWords(words[i], words[i + 1]);

                              Array.Copy(UlongToByteArray(twoWordsDecrypted[0]), 0, result, i * _wordLengthInBytes, _wordLengthInBytes);
                              Array.Copy(UlongToByteArray(twoWordsDecrypted[1]), 0, result, (i + 1) * _wordLengthInBytes,
_wordLengthInBytes);
                    }

                    return result;
          }
          #endregion

          #region WordLength
          public class WordLength
          {
                    public int Length { get; }

                    public ulong BytesUsage { get; }

                    public ulong P { get; }

                    public ulong Q { get; }

                    public WordLength(int length)
                    {
                              switch (length)
                              {
                                        case 16:
                                                  Length = 16;
                                                  BytesUsage = 0x000000000000FFFFL;
                                                  P = 0x000000000000B7E1L;
                                                  Q = 0x0000000000009E37L;
                                                  break;
                                        case 32:
                                                  Length = 32;
                                                  BytesUsage = 0x00000000FFFFFFFFL;
                                                  P = 0x00000000B7E15163L;
                                                  Q = 0x000000009E3779B9L;
                                                  break;
                                        case 64:
                                                  Length = 64;
                                                  BytesUsage = 0xFFFFFFFFFFFFFFFFL;
                                                  P = 0xB7E151628AED2A6BL;
                                                  Q = 0x9E3779B97F4A7C15L;
                                                  break;
                                        default:
                                                  Length = 16;
                                                  BytesUsage = 0x000000000000FFFFL;
                                                  P = 0x000000000000B7E1L;
                                                  Q = 0x0000000000009E37L;
                                                  break;
                              }
                    }

                    public WordLength(int length, ulong bytesUsage, ulong p, ulong q)
                    {
                              this.Length = length;
                              this.BytesUsage = bytesUsage;
                              this.P = p;
                              this.Q = q;
                    }
          }
          #endregion
}
```

Результати роботи

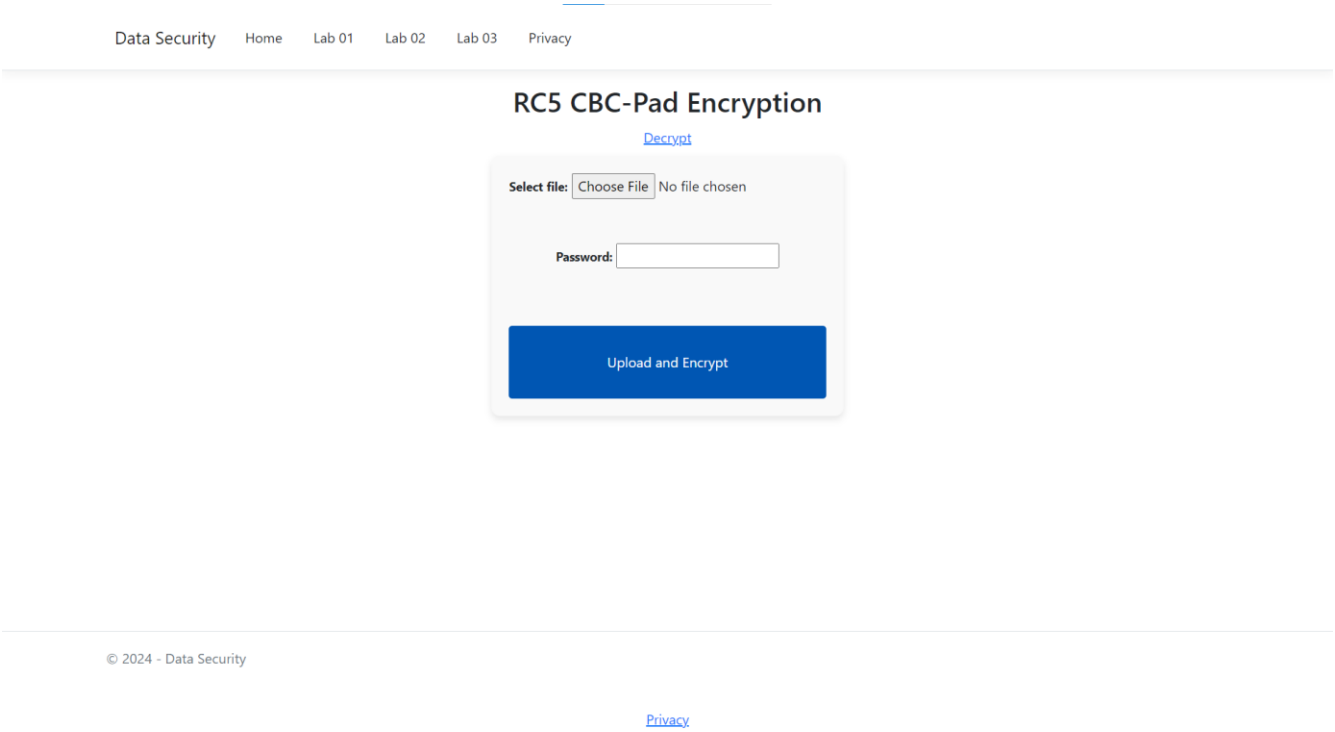


Рис. 2 Головне вікно програми

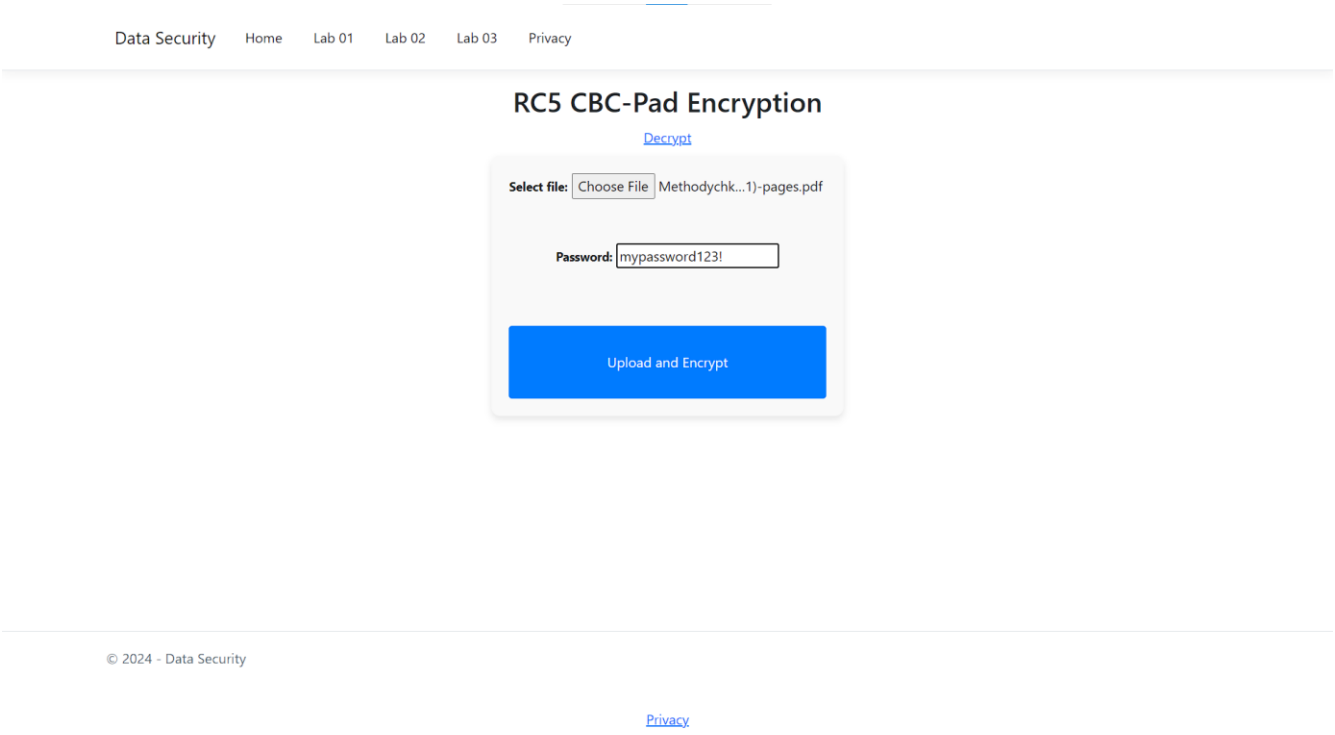


Рис. 3 Вхідні дані для шифрування

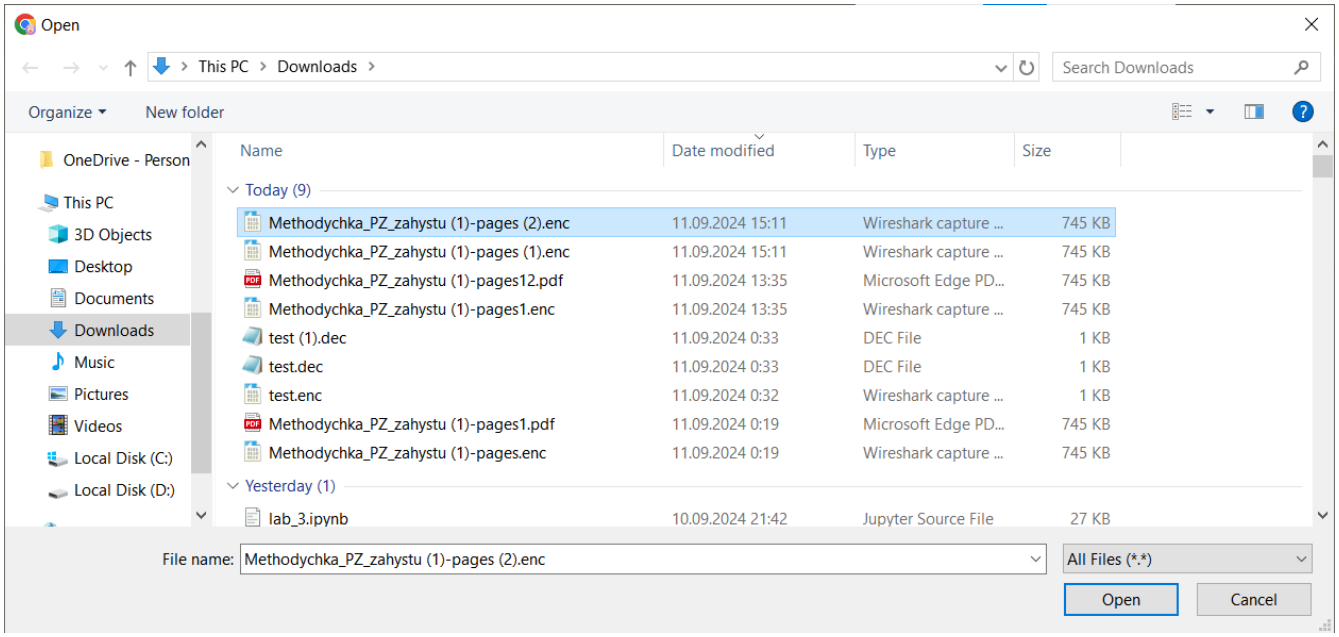


Рис. 4 Отриманий зашифрований файл

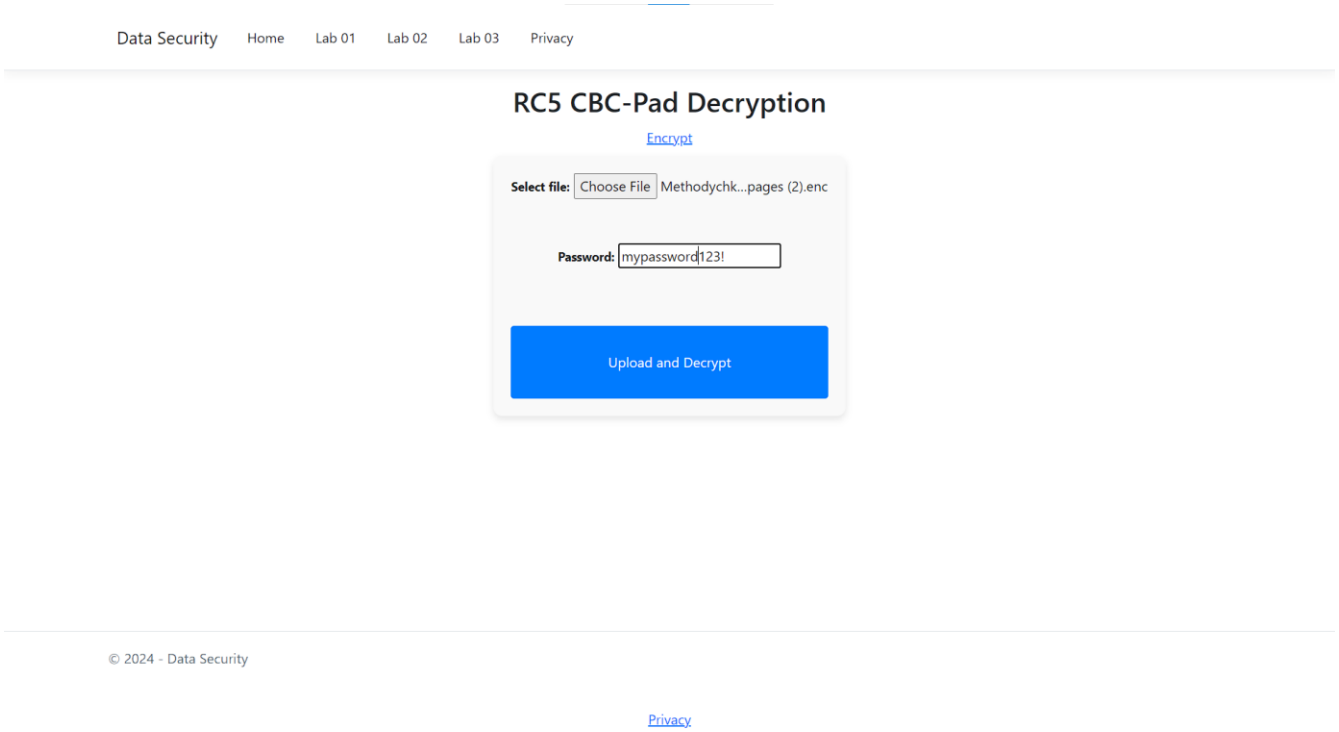


Рис. 5 Вхідні дані для дешифрування

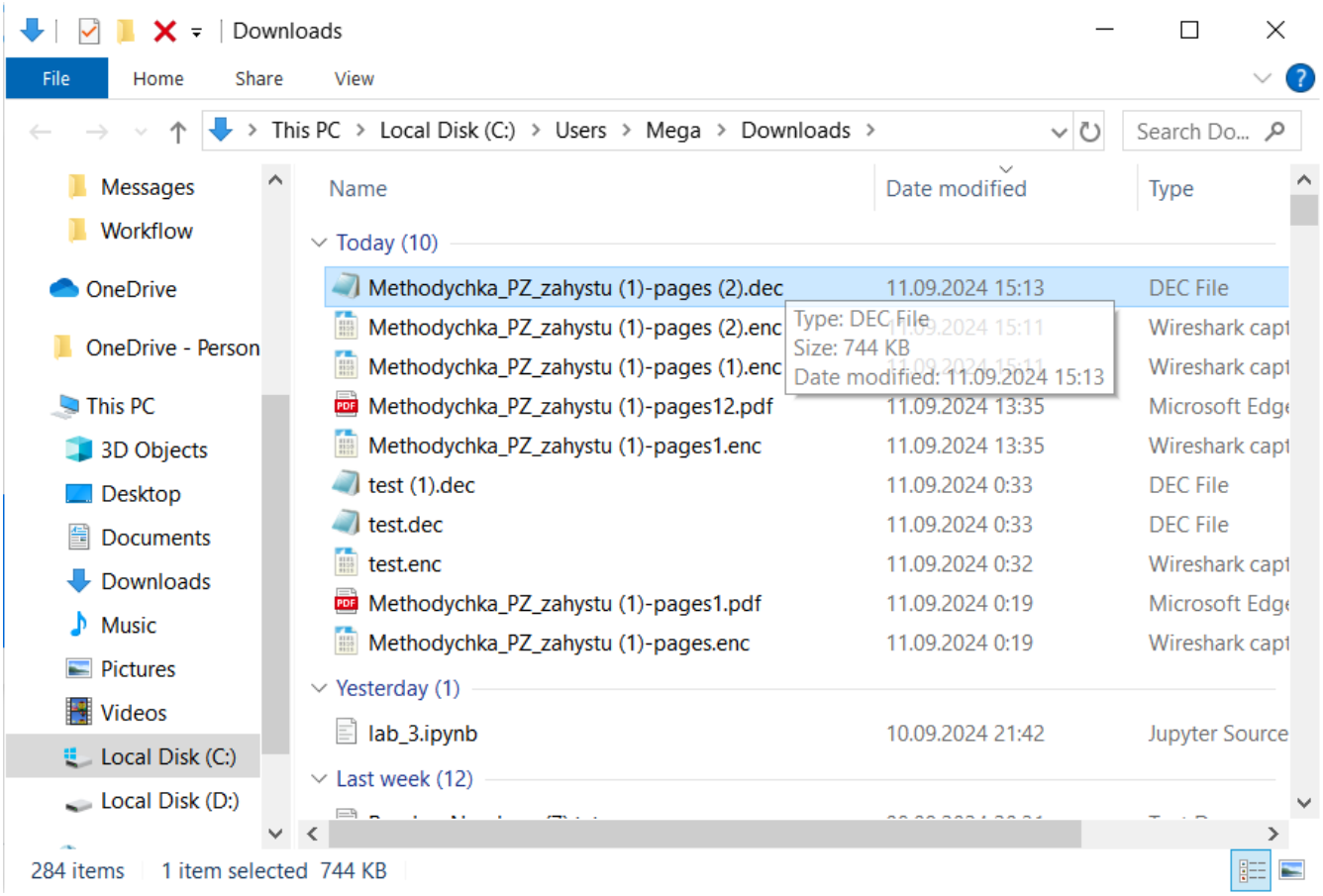
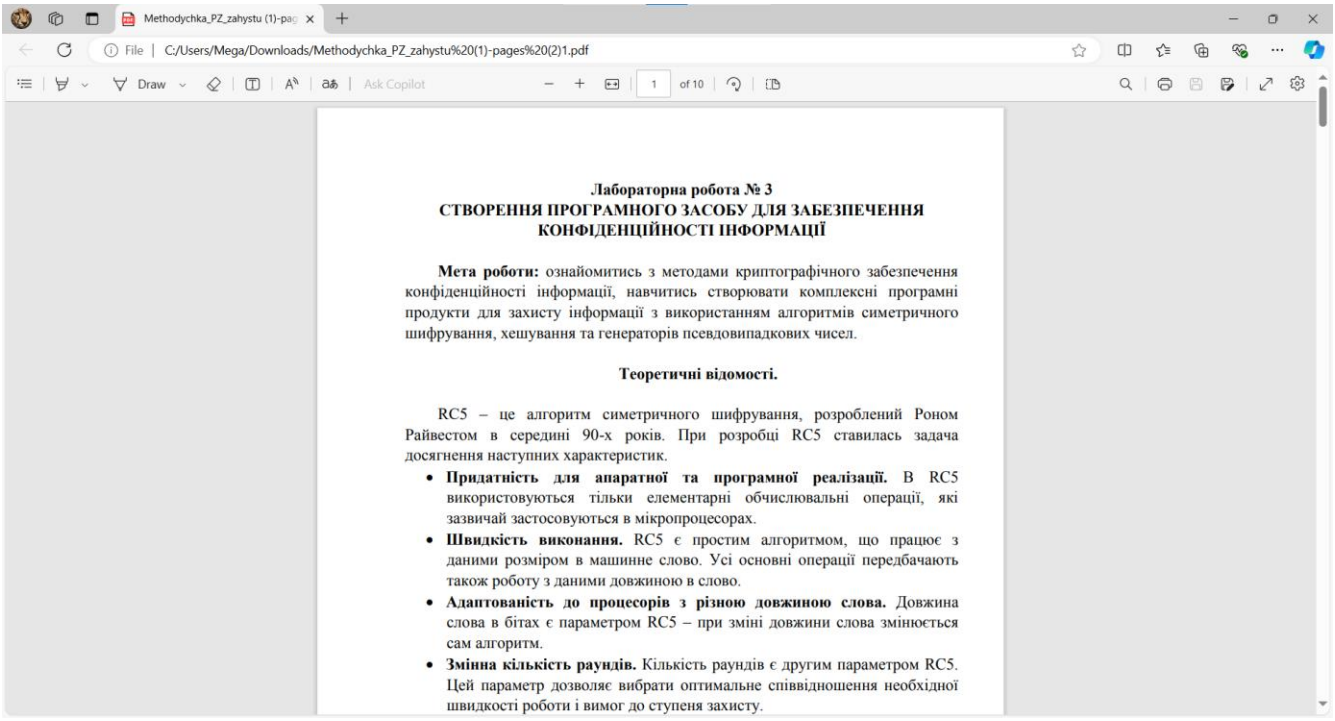


Рис. 6 Отриманий дешифрований файл



Лабораторна робота № 3
СТВОРЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНФІДЕНЦІЙНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ

Мета роботи: ознайомитись з методами криптографічного забезпечення конфіденційності інформації, навчитись створювати комплексні програмні продукти для захисту інформації з використанням алгоритмів симетричного шифрування, хешування та генераторів псевдовипадкових чисел.

Теоретичні відомості.

RC5 – це алгоритм симетричного шифрування, розроблений Роном Райвестом в середині 90-х років. При розробці RC5 ставилась задача досягнення наступних характеристик.

- **Придатність для апаратної та програмної реалізації.** В RC5 використовуються тільки елементарні обчислювальні операції, які зазвичай застосовуються в мікропроцесорах.
- **Швидкість виконання.** RC5 є простим алгоритмом, що працює з даними розміром в машинне слово. Усі основні операції передбачають також роботу з даними довжиною в слово.
- **Адаптованість до процесорів з різною довжиною слова.** Довжина слова в бітах є параметром RC5 – при зміні довжини слова змінюється сам алгоритм.
- **Змінна кількість раундів.** Кількість раундів є другим параметром RC5. Цей параметр дозволяє вибрати оптимальне співвідношення необхідної швидкості роботи і вимог до ступеня захисту.

Рис. 7 Перевірка цілісності дешифрованого файлу

Висновки

Отже, під час виконання даної лабораторної роботи я ознайомивс з методами криптографічного забезпечення конфіденційності інформації, навчився створювати комплексні програмні продукти для захисту інформації з використанням алгоритмів симетричного шифрування, хешування та генераторів псевдовипадкових чисел. Створив програмну реалізацію алгоритму шифрування RC5-CBC-Pad.