Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра программной ижненерии

**Лабораторная работа № 6**

«Изучение устройства и функциональных особенностей шифровальной машины Энигма»

Студент: Трусов В.С.

ФИТ 3 курс 4 группа

Минск 2023

**Теоретические сведения**

Машина Энигма – это электромеханическое устройство. Как и другие роторные машины, Энигма состоит из комбинации механических и электрических подсистем.

Механическая часть включает в себя клавиатуру, набор вращающихся дисков – роторов, – которые расположены вдоль вала и прилегают к нему, и ступенчатого механизма, двигающего один или несколько роторов при каждом нажатии на клавишу. Электрическая часть, в свою очередь, состояла из электрической схемы, соединяющей между собой клавиатуру, коммутационную панель, лампочки и роторы (для соединения роторов использовались скользящие контакты).

Энигма состоит из 5 основных блоков:

* панели механических клавиш (дают сигнал поворота роторных дисков);
* трех (или более) роторных дисков, каждый имеет контакты по сторонам, по 26 на каждую, которые коммутируют в случайном порядке; по окружности нанесены буквы латинского алфавита либо числа;
* рефлектора (имеет контакты с крайним слева ротором);
* коммутационной панели (служит для того, чтобы дополнительно менять местами электрические соединения (контакты) двух букв);
* панели в виде электрических лампочек; индикационная панель с лампочками служит индикатором выходной буквы в процессе шифрования.

Конкретный механизм мог быть разным, но общий принцип был таков: при каждом нажатии на клавишу самый правый ротор сдвигается на одну позицию, а при определённых условиях сдвигаются и другие роторы. Движение роторов приводит к различным криптографическим преобразованиям при каждом следующем нажатии на клавишу на клавиатуре, т.е. зашифрование/расшифрование сообщений основано на выполнении ряда замен (подстановок) одного символа другим. Идея А. Шербиуса состояла в том, чтобы добиться этих подстановок электрическими связями.

Как мы отмечали выше, Энигма строится на основе подстановочных шифров, подобных на шифр Цезаря, в котором, как известно, ключ сообщения, который должен знать получатель, – это просто смещение между двумя алфавитами. Принято считать, что в основе шифра Энигмы лежит динамический шифр Цезаря.

Более сложная система использует случайный ряд символов для нижнего алфавита. Принцип, положенный в основу этой «случайности», имеет много общего с перестановочными шифрами.

Этот принцип случайности использовался и при изготовлении роторов и рефлекторов для Энигмы. Всего за время Второй мировой войны немцами было изготовлено восемь роторов и четыре рефлектора, но одновременно могло использоваться ровно столько, на сколько была рассчитана машина.

Как мы неоднократно подчеркивали, преобразование «Энигмы» для каждой буквы может быть определено математически как результат подстановок. Рассмотрим трехроторную модель Энигмы. Положим, что символом В обозначаются операции с использованием коммутационной панели, соответственно символы Re – отражателя, а L, M и R – обозначают действия левых, средних и правых роторов соответственно. Тогда процесс зашифрования символа m c использованием некоторой ключевой информации К формально можно записать в следующем виде:

EК = f (m, В, Re, L, M, R).

Чтобы оценить криптостойкость шифра, нужно учитывать все возможные настройки машины. Для этого необходимо рассмотреть следующие свойства Энигмы:

* выбор и порядок роторов;
* разводку (коммутацию) роторов;
* настройку колец на каждом из роторов;
* начальное положение роторов в начале сообщения;
* отражатель;
* настройки коммутационной панели.

Используются различные варианты подсчета всех возможных состояний перечисленных конструктивных модулей машины [27]. К сожалению для немцев, взломщики шифра союзников знали машину, роторы и внутреннюю разводку этих роторов. Поэтому им нужно было учитывать только возможные способы настройки Энигмы. Такая априорная информация о конструктивных особенностях устройства для шифрования (вспомним об основных постулатах О. Керкгоффса [2]) в нашем случае снижает уровень (теоретический) криптостойкости (до практического). Немецкие криптологи полагали, что один ротор может быть подключен 4 х 1026 различными способами. Сочетание трех роторов и отражателя позволяет получить астрономические цифры возможных вариантов подстановок. Для союзников, которые знали конструкции роторов, число различных вариантов существенно уменьшалось.

Рассмотрим пример для трехроторной Энигмы Вермахта с отражателем (по умолчанию – B, см. рис. 4.6) и выбором из 5 роторов. Использовались 10 штекерных кабелей на коммутационной панели (количество кабелей по умолчанию, поставляемых с машиной).

Каждый ротор (его внутренняя проводка) может быть установлен в любом из 26 положений. Следовательно, с 3 роторами имеется 17 576 различных положений ротора (26 x 26 x 26). Кольцо на каждом роторе содержит маркировку ротора (что здесь неважно) и выемку, которая влияет на шаг перемещения расположенного левее ротора. Каждое кольцо может быть установлено в любом из 26 положений. Поскольку слева от третьего (наиболее левого) ротора нет ротора, на расчет влияют только кольца самого правого и среднего ротора. Это дает 676 комбинаций колец (26 х 26).

Коммутационная панель обеспечивает самый большой набор возможных настроек. Для первого кабеля одна сторона может иметь любое из 26 положений, а другая сторона - любое из 25 оставшихся положений (одна буква коммутируются с другой). Однако, поскольку комбинация и ее обратная сторона идентичны (AB такая же, как BA), мы должны игнорировать все двойные числа во всех возможных комбинациях для одного кабеля, предоставляя (26 x 25) / (1! х 2^1) или 325 уникальных способов коммутаций одним кабелем. Для двух кабелей: есть (26 x 25) комбинаций – для первого кабеля и, поскольку два разъема уже используются, то получается (24 x 23) комбинаций – для второго кабеля. Следуя этой простой логике, получается (26 x 25 x 24 x 23) / (2! X 2^2) = 44 850 уникальных способов коммутаций с использованием двух кабелей. Для трех кабелей – (26 x 25 x 24 x 23 x 22 x 21) / (3! х 2^3) = 3 453 450 комбинаций и так далее. Таким образом, с использованием 10 кабелей на коммутационной панели получаются 150 738 274 937 250 различных комбинаций. Формула, где n равно количеству кабелей, равна 26! / (26 - 2n)! · n! · 2n. Численно это дает: 60 x 17 576 x 676 x 150 738 274 937 250 = 107 458 687 327 250 619 360 000 или 1,07 x 10^23.

Таким образом, практически рассматриваемая версия Энигмы (три ротора с выбором из 5 роторов, отражатель В и 10 штекерных кабелей для коммутационной панели) может быть настроена на 1,07 x 1023 различных состояний, что сопоставимо с 77-битным криптографическим ключом.

Оценим далее практический размер криптографического ключа (или его эквивалент) для четырехроторной версии Krigsmarine Enigma M4. Эта машина использует 3 обычных ротора, выбранных из набора из 8. Это, как мы уже отметили, дает 336 комбинаций подключений роторов (8 х 7 х 6). M4 также имела специальный четвертый ротор, называемый Beta или Gamma (без кольца), который дает 2 варианта. Они не совместимы с другими роторами и подходят только как четвертый (самый левый) ротор. Четыре ротора могут быть установлены в любом из 456 976 положений (26 x 26 x 26 x 26). Рефлектор не меняется. Четвертый ротор был неподвижным. Версия М4 была снабжена также 10 кабелями для коммутационной панели.

В сумме это дает: 336 x 2 x 456 976 x 676 x 150 738 274 937 250 = = 31 291 969 749 695 380 357 632 000 или 3,1 x 10^25, что сопоставимо с 84- битным ключом.

Проблема криптоанализа шифров Энигмы была экстраординарной (с учетом электромеханических конструкций устройств для криптоанализа, применяемых в то время). Исчерпывающий поиск всех возможных 1,07 x 10^23 настроек (атака brute force) был невозможен в 1940-х годах, а его сопоставимый 77-битный ключ огромен даже для современных электронных систем. Чтобы дать представление о размере этого числа, представим, что у нас есть 1,07 x 10^23 листов бумаги толщиной около 1 мм. Из этих листов можно сложить примерно 70 000 000 стопок бумаги, каждая из которых простирается от Земли до Солнца. Кроме того, 1,07 x 10^23 дюйма равно 288 500 световых лет.

**Практическая часть**

1. Разработать приложение-симулятор шифровальной машины, состоящей из клавиатуры, трех роторов и отражателя. Типы роторов (L-M-R) и отражателя Re следует выбрать из таблиц на рис. 1 в соответствии со своим вариантом, представленным в таблице 1. Крайний правый столбец этой таблицы показывает, на какое число шагов (букв, i) перемещается соответствующий ротор при зашифровании одного (текущего) символа; число 0 означает перемещение соответствующего ротора на один шаг при условии, что расположенный правее ротор совершит один оборот.

Таблица 1.1 – Данные варианта.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант задания | L | M | R | Re | Li-Mi-Ri |
| 13 | VI | IV | II | B | 1-2-2 |

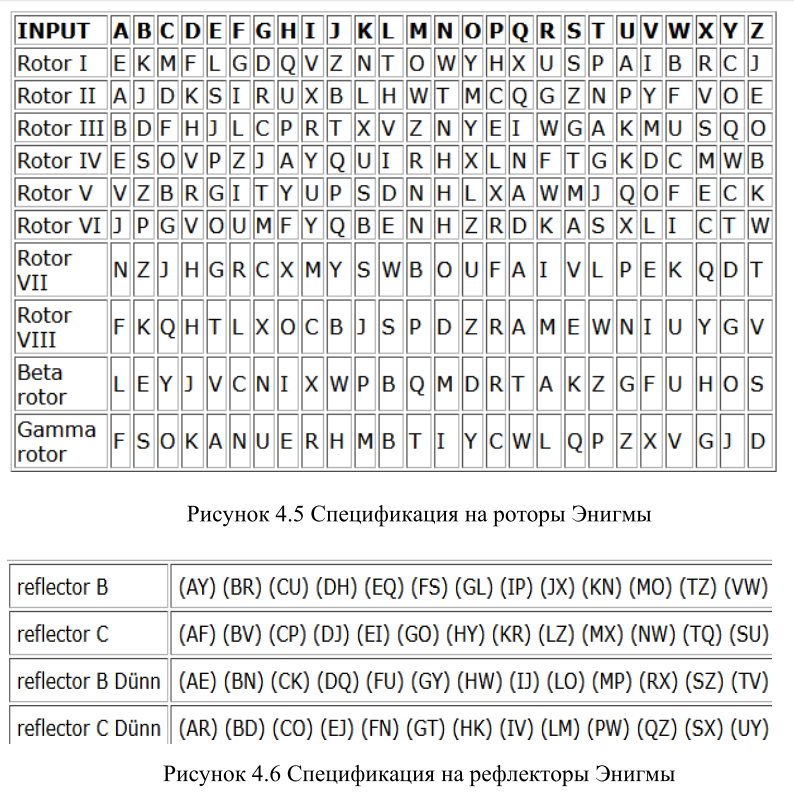


Рисунок 1.1 – спецификация для выполнения задания

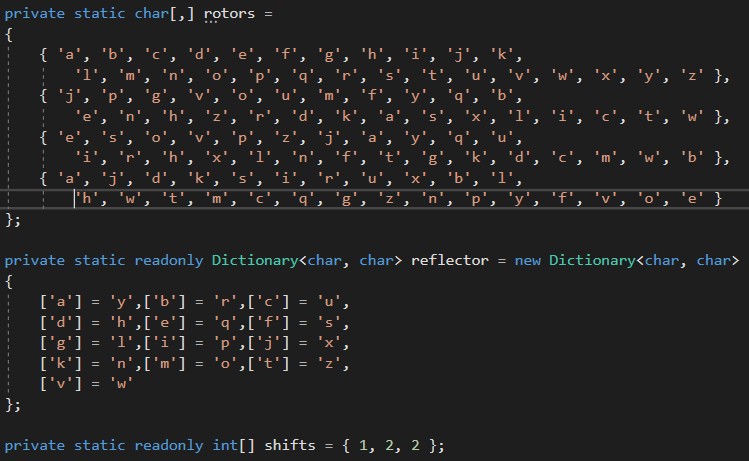


Рисунок 1.2 – настройка Энигмы в коде

1. С помощью разработанного приложения зашифровать сообщение.

Результат представлен на рисунке 1.3.

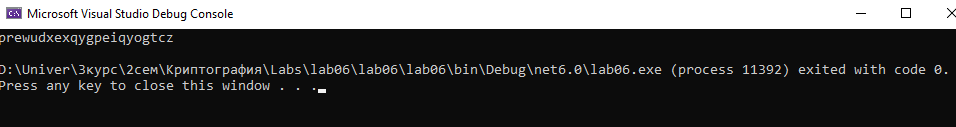


Рисунок 1.3 – результат работы приложения

5\*4\*3=60 (количество возможных комбинаций роторов)

26\*26\*26=17576 (возможные положения роторов)

26\*26=676 (начальные положения роторов)

26! / (26-2\*10) \*10! \* 210=1,5 \*1014 (коммутация панели)

60\*17576\*676\*1,5\*1014 =1,07\*1023

Вывод: в ходе лабораторной работы мы разработали шифровальную машину Энигма. Также установили, что криптостойкость машины составляет 1,07\*1023 комбинаций.