

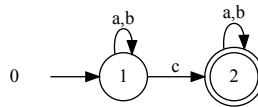
Домашняя работа №1

по Теоретическим моделям вычислений

Задание 1

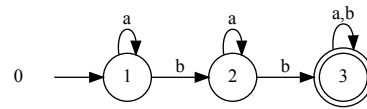
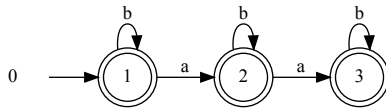
Построить конечные автоматы¹, распознающие следующие языки:

1. $L_1 = \{\omega \in \{a, b, c\}^* : |\omega|_c = 1\}$



2. $L_2 = \{\omega \in \{a, b\}^* : |\omega|_a \leq 2, |\omega|_b \geq 2\}$

Рассмотрим автоматы $A = \{\omega \in \{a, b\}^* : |\omega|_a \leq 2\}$ и $B = \{\omega \in \{a, b\}^* : |\omega|_b \geq 2\}$, распознающие каждое условие по отдельности:

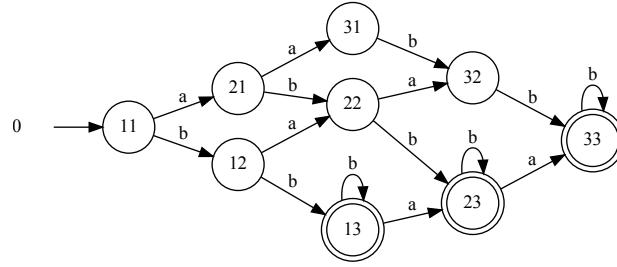


Тогда $L_2 = A \times B$. Терминальными состояниями в L_2 будут вершины 13, 23 и 33. Теперь выпишем переходы для произведения автоматов в виде таблицы:

A	B	переход по a	переход по b
1	1	21	12
2	2	32	23
3	3	-	33
1	2	22	13
2	3	33	23
3	1	-	32
1	3	23	13
2	1	31	22
3	2	-	33

После прямого произведения двух автоматов получим окончательный ответ:

¹Так как библиотека graphviz для L^AT_EX по неизвестной мне причине, не может использовать строки в кавычках в качестве имён узлов и не может распознавать имена, состоящие из расположенных слитно цифр и букв, то названия узлов в некоторых приведённых здесь графах будут иметь длинные числовые наименования.

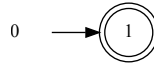


3. $L_3 = \{\omega \in \{a, b\}^* : |\omega|_a \neq |\omega|_b\}$

Этот язык нельзя описать с помощью ДКА, т.к. для описания языка необходимо запоминать количество символов одного типа, что ДКА сделать не может.

4. $L_4 = \{\omega \in \{a, b\}^* : \omega\omega = \omega\omega\omega\}$

Очевидно, что такой язык описывает только пустые слова:

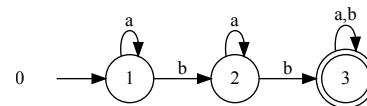
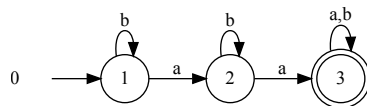


Задание 2

Построить конечные автоматы, распознающие следующие языки, используя прямое произведение:

1. $L_1 = \{\omega \in \{a, b\}^* : |\omega|_a \geq 2 \wedge |\omega|_b \geq 2\}$

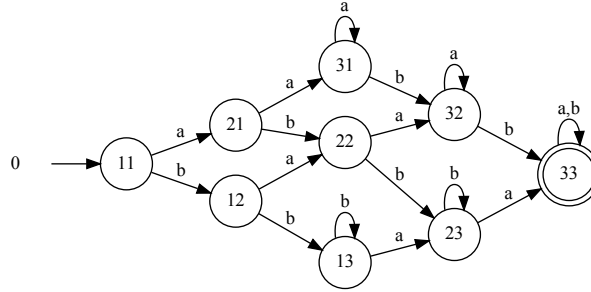
Рассмотрим автоматы $A = \{\omega \in \{a, b\}^* : |\omega|_a \geq 2\}$ и $B = \{\omega \in \{a, b\}^* : |\omega|_b \geq 2\}$, распознающие каждое условие по отдельности:



Тогда $L_1 = A \times B$, имеем $\Sigma = \{a, b\}$, $s = 11$ и $T = \{33\}$. Теперь выпишем переходы для произведения автоматов в виде таблицы:

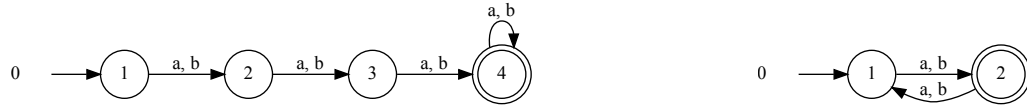
A	B	переход по a	переход по b
1	1	21	12
2	2	32	23
3	3	33	33
1	2	22	13
2	3	33	23
3	1	31	32
1	3	23	13
2	1	31	22
3	2	32	33

После прямого произведения двух автоматов получим окончательный ответ:



2. $L_2 = \{\omega \in \{a, b\}^* : |\omega| \geq 3 \wedge |\omega| \text{ нечётное}\}$

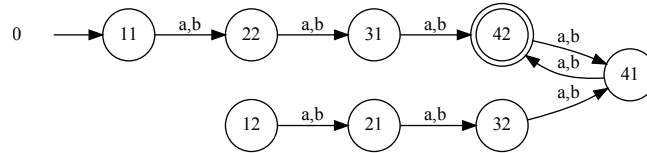
Рассмотрим автоматы $A = \{\omega \in \{a, b\}^* : |\omega| \geq 3\}$ и $B = \{\omega \in \{a, b\}^* : |\omega| \text{ нечётное}\}$:



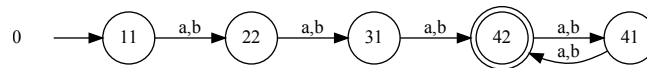
Тогда $L_2 = A \times B$, имеем $\Sigma = \{a, b\}$, $s = 11$ и $T = \{33\}$. Переходы для произведения автоматов:

A	B	переход по a или b
1	1	22
2	1	32
3	1	42
4	1	42
1	2	21
2	2	31
3	2	41
4	2	41

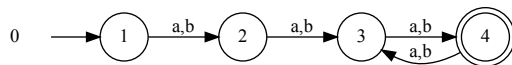
После прямого произведения двух автоматов получим окончательный ответ:



ДКА можно упростить, т.к. невозможно попасть в узлы 12, 21 и 32:

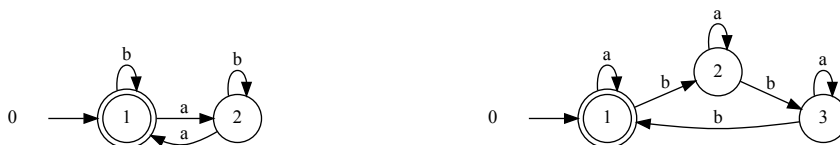


С другой стороны, описать данный язык можно с помощью более компактного автомата, созданного "вручную":



3. $L_3 = \{\omega \in \{a, b\}^* : |\omega|_a \text{ чётно} \wedge |\omega|_b \text{ кратно } 3\}$

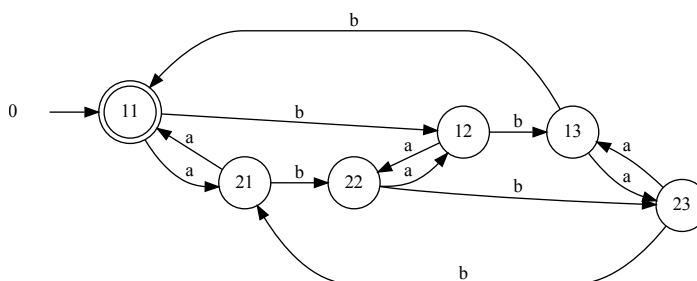
Рассмотрим автоматы $A = \{\omega \in \{a, b\}^* : |\omega|_a \text{ чётно}\}$ и $B = \{\omega \in \{a, b\}^* : |\omega|_b \text{ кратно } 3\}$:



Тогда $L_3 = A \times B$, имеем $\Sigma = \{a, b\}$, $s = 11$ и $T = \{11\}$. Переходы для произведения автоматов:

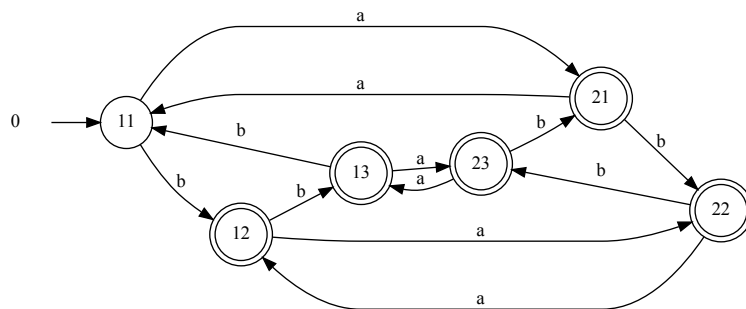
A	B	переход по a	переход по b
1	1	21	12
2	2	12	23
1	2	22	13
2	3	13	21
1	3	23	11
2	1	11	22

После прямого произведения двух автоматов получим окончательный ответ:



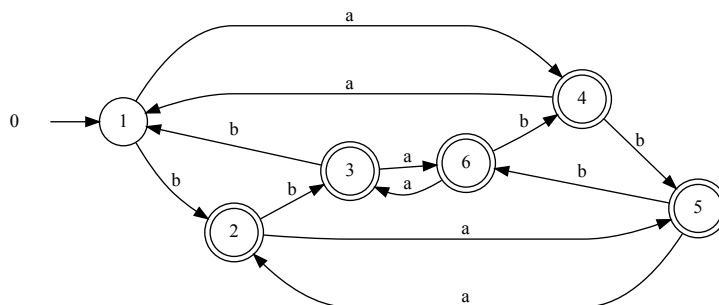
4. $L_4 = \neg L_3$

Имеем, $T_4 = Q_3 \setminus T_3 = \{12, 13, 21, 22, 23\}$, тогда можно легко построить ДКА:



5. $L_5 = L_2 \setminus L_3$

Для построения этого автомата используем упрощённую версию автомата L_2 , которая была получена в пункте 2 этого задания. Для удобства дальнейших преобразований, перенумеруем названия узлов графа $\neg L_3$:



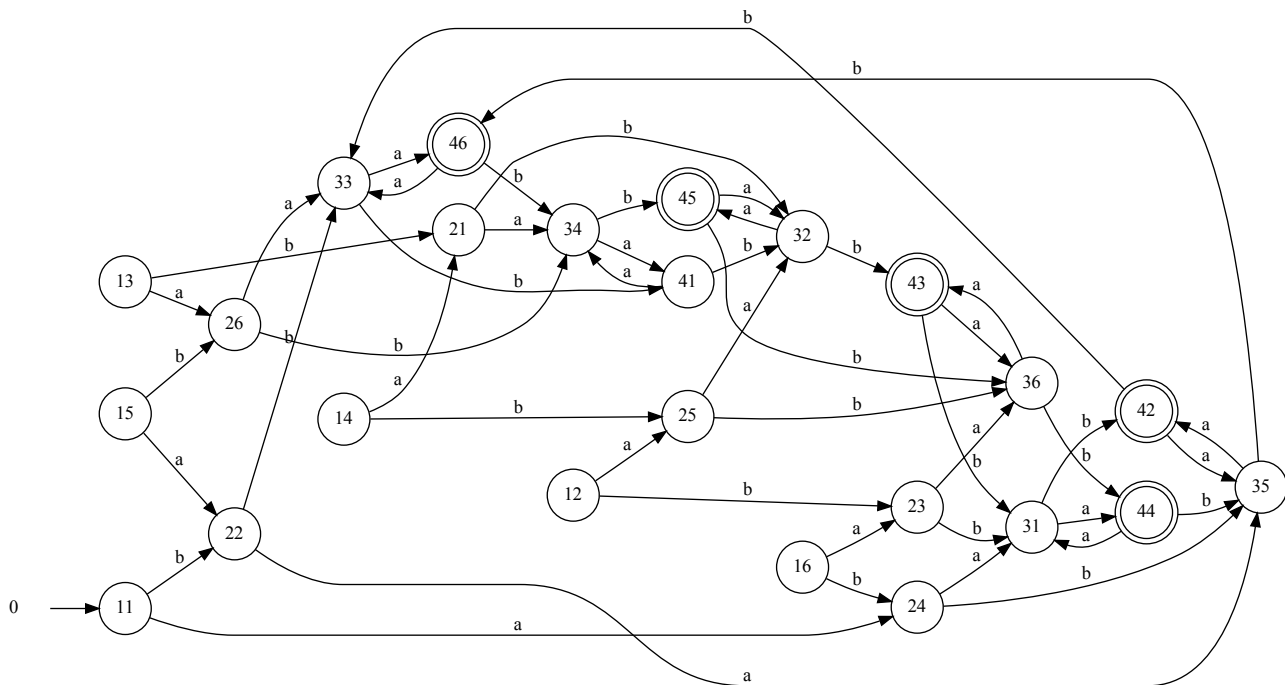
Так как $L_5 = L_2 \setminus L_3 = L_2 \cap \neg L_3 = \neg L_3 \times L_2$, тогда имеем:

$\Sigma = \{a, b\}$, $s = 11$ и $T = \{42, 43, 44, 45, 46\}$. Выпишем переходы для L_5 :

L_2	$\neg L_3$	переход по a	переход по b
1	1	24	22
1	2	25	23
1	3	26	21
1	4	21	25
1	5	22	26
1	6	23	24
2	1	34	32
2	2	35	33
2	3	36	31
2	4	31	35
2	5	32	36
2	6	33	34

L_2	$\neg L_3$	переход по a	переход по b
3	1	44	32
3	2	45	33
3	3	46	31
3	4	41	35
3	5	42	36
3	6	43	34
4	1	34	32
4	2	35	33
4	3	36	31
4	4	31	35
4	5	32	36
4	6	33	34

Построим автомат:

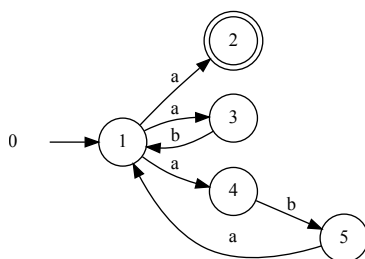


Задание 3

Построить минимальные ДКА по регулярным выражениям:

1. $(ab + aba)^*a$

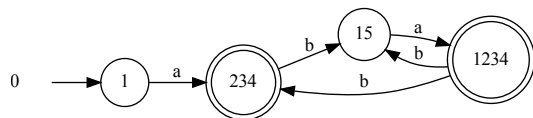
Составим недетерминированный автомат, чтобы затем преобразовать его в детерминированный:



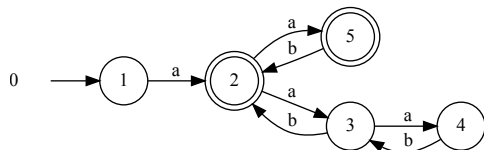
Построим эквивалентный ДКА по алгоритму Томпсона:

Q	a	b
1	234	-
234	-	15
15	1234	-
1234	234	15

Получили минимальный и детерминированный автомат:



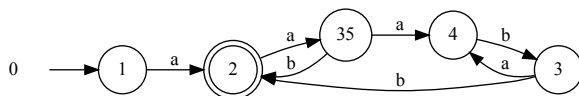
2. $a(a(ab)^*b)^*(ab)^*$
 Построим НКА:



Построим эквивалентный ДКА по алгоритму Томпсона:

Q	a	b
1	2	-
2	35	-
35	4	2
4	-	3
3	4	2

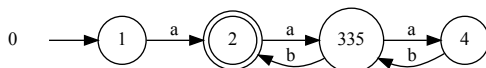
Получили следующий детерминированный автомат:



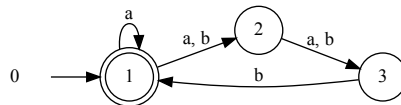
Определим пары различных состояний и попробуем минимизировать полученный автомат:

	1	2	3	35	4
1		+	+	+	+
2	+		+	+	+
3	+	+			+
35	+	+			+
4	+	+	+	+	

Получили различные состояния $\{1, 2, 3, 35, 4\}$, перестроим автомат, очевидно, что он минимальный:



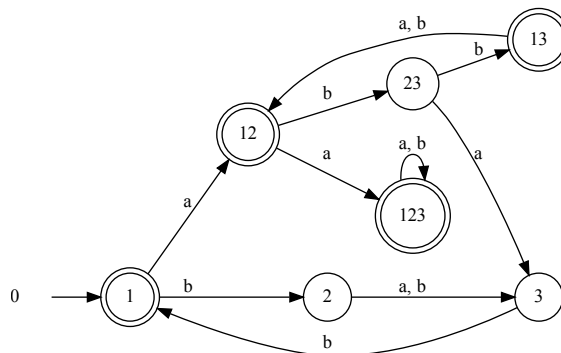
3. $(a + (a + b)(a + b)b)^*$
 Построим НКА:



Построим эквивалентный ДКА по алгоритму Томпсона:

Q	a	b
1	12	2
12	123	23
2	3	3
123	123	123
23	3	13
3	-	1
13	12	12

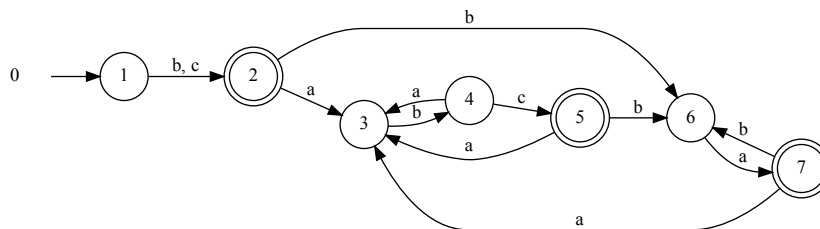
Получили следующий детерминированный автомат:



Определим пары различных состояний и попробуем минимизировать полученный автомат:

	1	12	13	123	2	23	3
1					+	+	+
12					+	+	+
13					+	+	+
123					+	+	+
2	+	+	+	+			+
23	+	+	+	+			+
3	+	+	+	+	+	+	

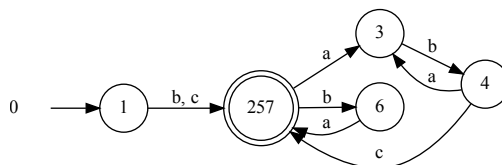
4. $(b + c)((ab)^*c + (ba)^*)^*$
 Сразу можем построить ДКА:



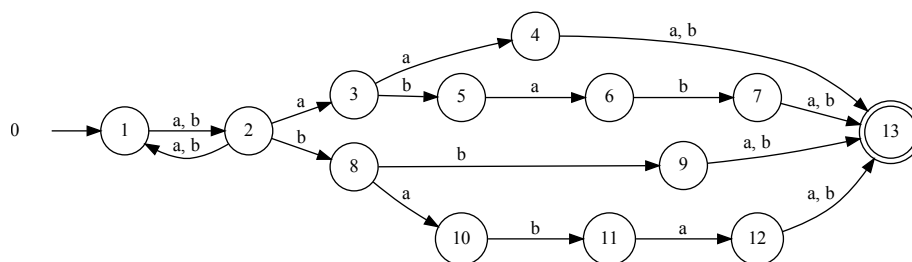
Определим пары различных состояний и попробуем минимизировать полученный автомат:

	1	2	3	4	5	6	7
1		+	+	+	+	+	+
2	+		+	+		+	
3	+	+		+	+	+	+
4	+	+	+		+	+	+
5	+		+	+		+	
6	+	+	+	+	+		+
7	+		+	+		+	

Получили различные состояния $\{1, 257, 3, 4, 5, 6\}$, перестроим автомат, очевидно, что он минимальный:



5. $(a + b)^+(aa + abab + bb + baba)(a + b)^+$
Построим НКА:



Построим эквивалентный ДКА по алгоритму Томпсона:

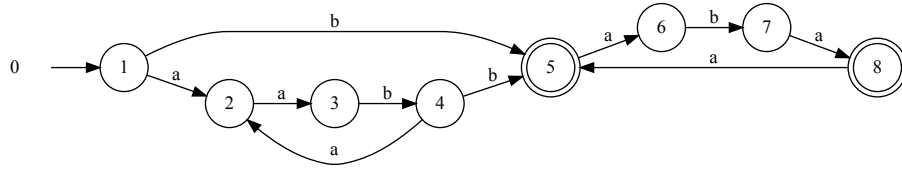
Q	a	b
1	2	2
2	13	18
13	3	3
123	123	123
23	3	13
3	-	1
13	12	12

Задание 4

Определить, являются ли следующие языки регулярными или нет:

1. $L = \{(aab)^n b(aba)^m : n \geq 0, m \geq 0\}$

Язык регулярный, так как по нему возможно составить ДКА:



2. $L = \{uaav : u \in \{a, b\}^*, v \in \{a, b\}^*, |u|_b \geq |v|_a\}$

Применим лемму о разрастании. Зафиксируем $\forall n \in \mathbb{N}$ и рассмотрим слово $\omega = b^n a a a^n$, $|\omega| = 2n + 2 \geq n$. Теперь рассмотрим все разбиения этого слова $\omega = xyz$ такие, что $|y| \neq 0$, $|xy| \leq n$:

$$x = b^k, y = b^l, z = b^{n-k-l} a a a^n,$$

$$\text{где } 1 \leq k + l \leq n \wedge l > 0$$

Других разбиений, удовлетворяющих данным условиям, нет. Для любого из таких разбиений слово $xy^0z \notin L$. Лемма не выполняется, значит, L не регулярный язык.

3. $L = \{a^m w : w \in \{a, b\}^*, 1 \geq |w|_b \geq m\}$

Применим лемму о разрастании. Зафиксируем $\forall n \in \mathbb{N}$ и рассмотрим слово $\omega = a^n b^n$, $|\omega| = 2n \geq n$. Теперь рассмотрим все разбиения этого слова $\omega = xyz$ такие, что $|y| \neq 0$, $|xy| \leq n$:

$$x = a^l, y = a^m, z = a^{n-l-m} b^n,$$

$$\text{где } l + k \leq n \wedge m \neq 0$$

Других разбиений, удовлетворяющих данным условиям, нет. Теперь выполним накачку:

$$xy^i z = a^l (a^m)^i a^{n-l-m} b^n = a^{n-mi} b^n \notin L, i \geq 0 \in \mathbb{N}$$

Лемма не выполняется, значит, L не регулярный язык.

4. $L = \{a^k b^m a^n : k = n \vee m > 0\}$

Применим лемму о разрастании. Зафиксируем $\forall n \in \mathbb{N}$ и рассмотрим слово $\omega = a^n b a^n$, $|\omega| = 2n + 1 \geq n$. Теперь рассмотрим все разбиения этого слова $\omega = xyz$ такие, что $|y| \neq 0$, $|xy| \leq n$:

$$x = a^k, y = a^m, z = a^{n-k-m} b a^n,$$

$$\text{где } k + m \leq n \wedge m \neq 0$$

Других разбиений, удовлетворяющих данным условиям, нет. Теперь выполним накачку:

$$xy^iz = a^k(a^m)^i a^{n-k-m}ba^n = a^{n+m(i-1)}ba^n \notin L, i \geq 2 \in \mathbb{N}$$

Получили противоречие, лемма не выполняется, значит, L не регулярный язык.

5. $L = \{ucv : u \in \{a, b\}^*, v \in \{a, b\}^*, u \neq v^R\}$

Применим лемму о разрастании. Зафиксируем $\forall n \in \mathbb{N}$ и рассмотрим слово $\omega = (ab)^n c(ab)^n = \alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_{4n+1}$, $|\omega| = 4n + 1 \geq n$. Теперь рассмотрим все разбиения этого слова $\omega = xyz$ такие, что $|y| \neq 0$, $|xy| \leq n$:

$$x = \alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_k, y = \alpha_{k+1} \dots \alpha_{k+m}, z = \alpha_{k+m+1} \dots \alpha_{4n+1} c(ab)^n,$$

$$\text{где } k + m \leq n \wedge m \neq 0$$

Других разбиений, удовлетворяющих данным условиям, нет. Теперь выполним накачку:

$$xy^iz = (\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_k)(\alpha_{k+1} \dots \alpha_{k+m})^i (\alpha_{k+m+1} \dots \alpha_{4n+1} c(ab)^n)$$

При $i = 2$ имеем:

$$xy^2z = (\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_k)(\alpha_{k+1} \dots \alpha_{k+m})^2 (\alpha_{k+m+1} \dots \alpha_{4n+1} c(ab)^n) \notin L$$

Лемма не выполняется, значит, L не регулярный язык.

Задние 5

Реализовать алгоритмы:

1. Построение ДКА по НКА с λ -переходами (не сделал).
2. Прямое произведение языков, с возможностью построить пересечение, объединение и разность. Реализовал алгоритмы (не работает разность), добавил возможность созранения графов в виде картинок и создания pdf-файла с решением для вычисления одного действия над двумя автоматами. Все файлы, относящиеся к заданию приложил в репозиторий:

- [automaton.py](#) - модуль с реализацией модели ДКА, необходимых алгоритмов.
- [solution-maker.py](#) - модуль для построения решения.
- [main.py](#) - модуль, в котором демонстрируется пример использования разработанных библиотек.
- дополнительные .pdf и .png файлы с примерами работы.