

Лабораторная работа  
РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМОЙ  
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ПРИ ОСНОВНОМ И СЛОЖНОМ  
СОЕДИНЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ

Цель работы: приобретение практических навыков выполнения расчетов по оценке надежности невосстанавливаемой РЭА при основном и сложном соединении элементов.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Проводится контроль уровня подготовки студентов по теме лабораторной работы.
2. Каждому студенту предлагается вариант структурной схемы объекта в смысле надежности и исходные параметры, характеризующие надежность свойства элементов исследуемого объекта.
3. Для заданного варианта структурной схемы объекта определяются аналитические соотношения для расчета показателей надежности  $P_{\text{сco}}(t)$ ,  $Q_{\text{сco}}(t)$ ,  $T_{\text{осco}}$ ,  $f_{\text{сco}}(t)$ ,  $\lambda_{\text{сco}}(t)$ .
4. Выполняются необходимые вычисления и построение графиков функции  $P_{\text{сco}}(t)$ ,  $Q_{\text{сco}}(t)$ ,  $f_{\text{сco}}(t)$ ,  $\lambda_{\text{сco}}(t)$ . Выполняется расчет  $T_{\text{осco}}$ .
5. Используя график вероятности безотказной работы  $P_{\text{сco}}(t)$  выполнить ориентировочную оценку средней наработки до отказа  $T_{\text{осco}}$ , используя два метода – в первом методе делают допущение об экспоненциальном распределении наработок до отказа всего объекта; во втором методе определяют площадь под кривой для графика  $P_{\text{сco}}(t)$ . Определить погрешности ориентировочных оценок, сравнив их с точным значением  $T_{\text{осco}}$ , полученным расчетным путем.
6. Проводится оформление отчета по лабораторной работе и ее защита.

Методические указания

Основные понятия, термины и определения, перечни показателей надежности невосстанавливаемых и восстанавливаемых объектов приведены в государственных стандартах, справочниках, научно-технической литературе. В частности, имеется ГОСТ 27.002-89. “Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения”. Согласно ГОСТ 27.002-89 устройства, системы и другие предметы, рассматриваемые с точки зрения их надежности свойств, определяются как “объекты”. Различают невосстанавливаемые и восстанавливаемые объекты. Невосстанавливаемым является такой объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния не предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств. В соответствии с таким делением на эти свойства рассматриваются показатели безотказности, показатели долговечности, показатели ремонтпригодности, показатели сохраняемости и комплексные показатели надежности. При этом под термином "показатель надежности" понимают количественную характеристику одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта.

В лабораторной работе рассматриваются невосстанавливаемые объекты и показатели надежности, характеризующие свойство "безотказность объекта". Из 7 показателей безотказности, приведенных в ГОСТ 27.002-89, в лабораторной работе рассматриваются 3 показателя:

- вероятность безотказной работы объекта  $P(t)$ ;
- средняя наработка до отказа  $T_0$ ;
- интенсивность отказов  $\lambda(t)$ .

В предыдущих ГОСТ по надежности использовались такие показатели надежности (ПН) как:

- вероятность отказов  $Q(t)$  или интегральная функция распределения наработки до отказа  $t$ ;
- частота отказов  $f(t)$  или плотность распределения вероятностей наработки до отказа  $t$ .

Несмотря на то, что  $Q(t)$  и  $f(t)$  в ГОСТ27.002-89 не приведены, но эти ПН широко используются в научно-технической литературе и будут рассматриваться в данной лабораторной работе.

Предметом исследования будет структурная схема объекта (ССО) в смысле надежности, в которой отдельные элементы соединены последовательно и параллельно.

При последовательном соединении элементов эта часть объекта будет работать безотказно, если будут работать безотказно все отдельные элементы этой части ССО. Если отказы отдельных элементов являются независимыми событиями, то тогда для "n" последовательно соединенных элементов в первую очередь рассматриваем вероятность безотказной работы

$$P_{\text{посл}}(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t), \quad (1)$$

где  $P_{\text{посл}}(t)$  - вероятность безотказной работы "n" последовательно соединенных элементов;

$P_i(t)$  - вероятность безотказной работы i-го элемента, входящего в группу из "n" последовательно соединенных элементов.

В теории надежности последовательное соединение элементов в объекте называют "основным" соединением элементов.

При параллельном соединении элементов эта часть объекта откажет в том случае, если откажут все элементы этой части ССО. Если отказы отдельных элементов являются независимыми событиями, то тогда для "m" параллельно соединенных элементов в первую очередь рассчитываем вероятность отказа  $Q_{\text{паралл}}(t)$

$$Q_{\text{паралл}}(t) = Q_1(t) \cdot Q_2(t) \cdot \dots \cdot Q_m(t), \quad (2)$$

где  $Q_i(t)$  - вероятность отказа i-го элемента, входящего в группу из "m" параллельно соединенных элементов.

Если учесть приведенные выше правила расчета надежных свойств элементов, которые имеют только последовательное или только параллельное соединение элементов, то можно сформулировать правило расчета надежных свойств объекта со сложным, последовательно-параллельным соединением элементов в смысле надежности: расчет надежности проводится поэтапно; на каждом этапе выделяется часть элементов, которые соединены между собой только последовательно или только параллельно и для них выполняется расчет  $P_{\text{посл}}(t)$  или  $Q_{\text{паралл}}(t)$ ; группировка элементов продолжается до тех пор, пока исходная ССО не

будет представлять собой два последовательно соединенных эквивалентных элемента.

В результате расчетов будет определено выражение для вероятности безотказной работы ССО со сложным, последовательно-параллельным соединением элементов  $P_{cco}(t)$ .

Остальные ПН определяем по следующим формулам

$$Q_{cco}(t) = 1 - P_{cco}(t), \quad (3)$$

$$f_{cco}(t) = \frac{dQ_{cco}(t)}{dt},$$

$$\lambda_{cco}(t) = \frac{f_{cco}(t)}{P_{cco}(t)},$$

$$T_{occo} = \int_0^{\infty} P_{cco}(t) dt.$$

В данной лабораторной работе будем полагать, что наработки до отказа отдельных элементов ССО распределены по экспоненциальному закону  $P_i(t) = e^{-\lambda_i t}$ .

Отметим, что при сложном, последовательно-параллельном соединении элементов ССО закон распределения наработок до отказа всего объекта не будет экспоненциальным, несмотря на то, что законы распределения наработок до отказа отдельных элементов являются экспоненциальными.

Варианты структурных схем объектов со сложным, последовательно-параллельным соединением элементов приведены в Приложении А. В приложении Б приведены варианты численных значений интенсивности отказов отдельных элементов, входящих в рассматриваемый объект.

Содержание отчета по лабораторной работе

1. Привести номер варианта и соответствующие ему ССО и значения интенсивностей отказов элементов, входящих в объект.
2. Привести вывод формул для ПН -  $P_{cco}(t)$ ,  $Q_{cco}(t)$ ,  $T_{occo}$ ,  $f_{cco}(t)$ ,  $\lambda_{cco}(t)$ .
3. Привести графики функций  $P_{cco}(t)$ ,  $Q_{cco}(t)$ ,  $f_{cco}(t)$ ,  $\lambda_{cco}(t)$ .
4. Привести точное значение средней наработки до отказа  $T_{occo}$  и величины погрешностей оценок  $T_{occo}$ , полученных ориентировочными методами.

Контрольные вопросы

1. Как формулируются правила оценки надежностных свойств элементов, соединенных в смысле надежности только последовательно или только параллельно?
2. Как формулируется правило оценки надежностных свойств объекта со сложным, последовательно-параллельным соединением элементов?
3. Как на основе графика для  $P_{cco}(t)$  выполнить ориентировочную оценку средней наработки до отказа  $T_{occo}$ ?
4. Как доказать, что распределение наработок до отказа для объекта со сложным, последовательно-параллельным соединением элементов не подчиняется экспоненциальному закону?

В данной лабораторной работе используется программ Mathcad.

Последовательность решения в Mathcad:

1. Открываем Mathcad; на главной панели инструментов выбираем View (ставим галочку на Math Palette):

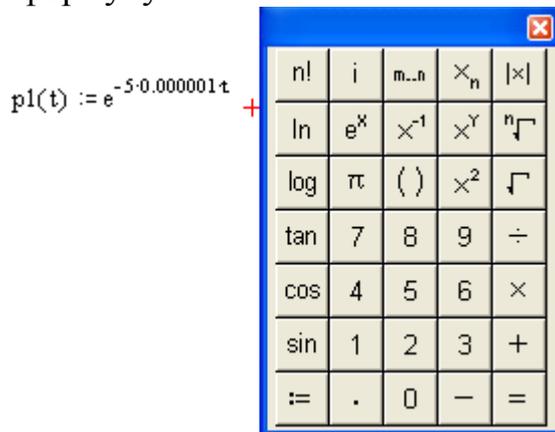


2. Для ввода формулы  $P_i(t) = e^{-\lambda_i t}$  нужно:

- нажимаем кнопку



- вводим с помощью клавиатуры и появившегося окна заданную формулу



- аналогичным образом вводим формулы для всех  $\lambda_i 10^{-6}$  1/час

3. Записываем выражение для  $P_{\text{cco}}(t)$  (см. п. 2)

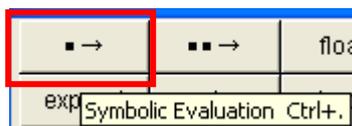
$$p(t) := [1 - (1 - p1(t)) \cdot (1 - p4(t)) \cdot (1 - p5(t)) \cdot (1 - p6(t))] \cdot p2(t) \cdot [1 - (1 - p3(t)) \cdot (1 - p7(t))]$$

4. Вычисляем  $Q_{\text{cco}}(t)$ :

- записываем формулу  $Q_{\text{cco}}(t) := 1 - P_{\text{cco}}(t)$
- для автоматического расчета данной формулы используем кнопку



- в появившемся окне выбираем кнопку



$$Q(t) := 1 - p(t) \rightarrow$$

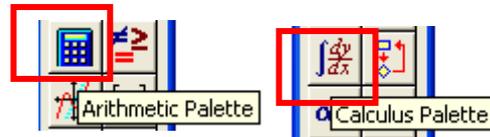
- нажимаем кнопку на клавиатуре ‘Enter’ и получаем результат для  $Q_{\text{cco}}(t)$

5. Вводим формулы, используя кнопки

$$f(t) := \frac{dQ(t)}{dt} \rightarrow$$

$$\lambda(t) := \frac{f(t)}{P(t)} \rightarrow$$

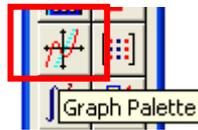
$$T := \int_0^{100000} P(t) dt \rightarrow$$



и рассчитываем (смотрим пункт 4)

6. Строим графики  $P_{\text{cco}}(t)$ ,  $Q_{\text{cco}}(t)$ ,  $f_{\text{cco}}(t)$ ,  $\lambda_{\text{cco}}(t)$ :

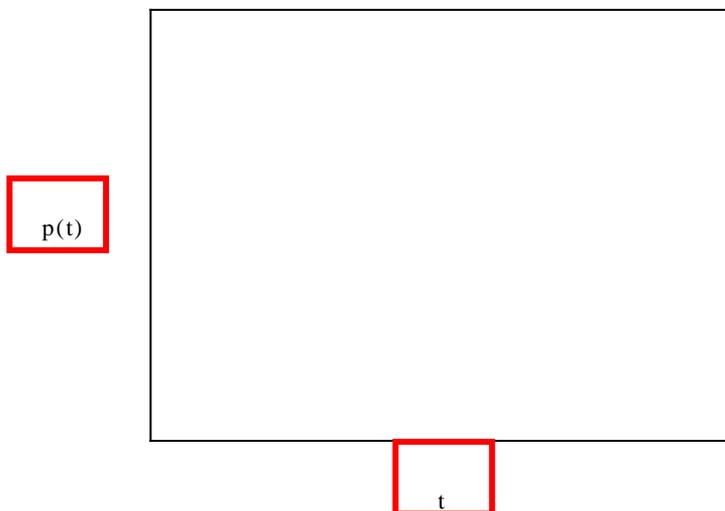
- нажимаем кнопку



- в появившемся окне нажимаем кнопку

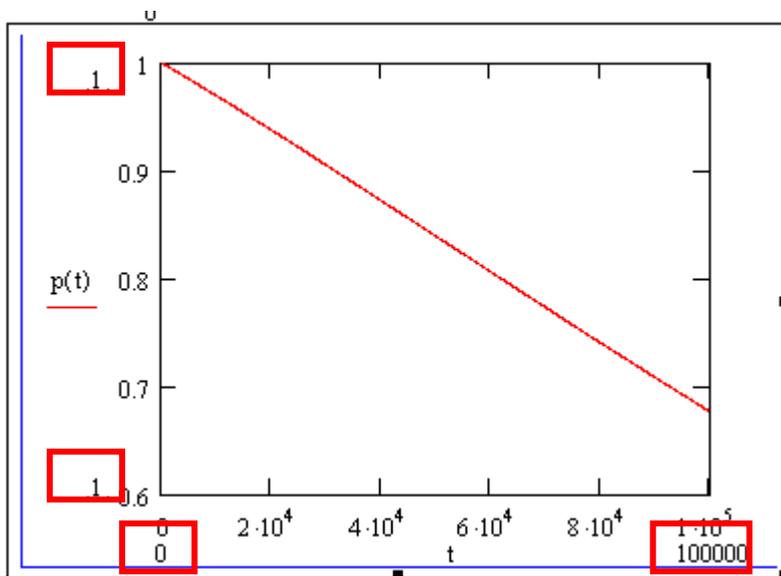


- в появившейся области построения графика обозначаем оси



Аналогично строим остальные графики  $Q(t)$ ,  $f(t)$ ,  $\lambda(t)$ .

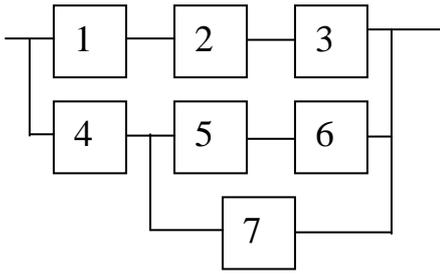
- если нужно изменить диапазон графика, то меняем диапазон значений координат осей (нажатием мыши, выбираем необходимую координату и меняем значение):



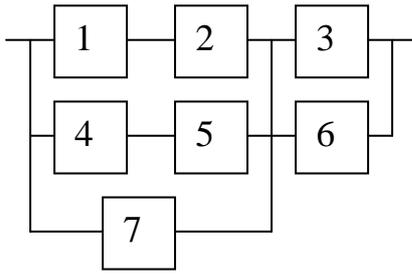
- проводим анализ графиков

Приложение А

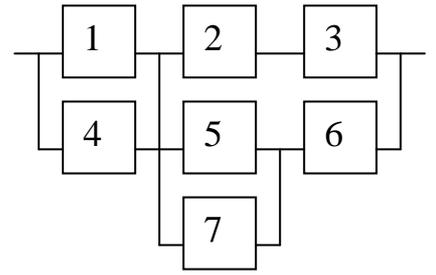
Варианты структурных схем объектов со сложным последовательно-параллельным соединением элементов



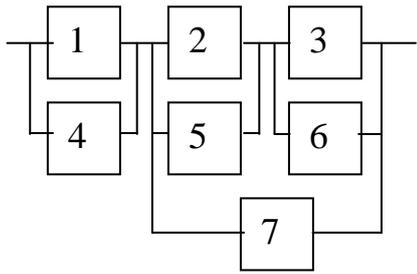
B1



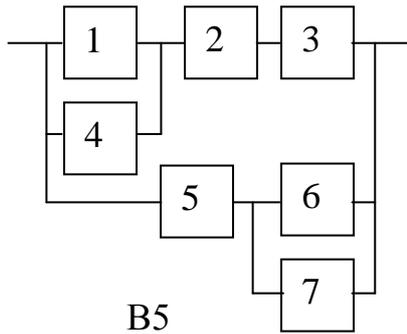
B2



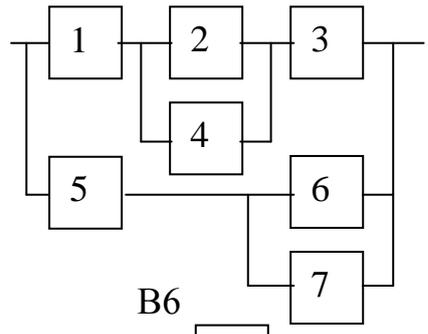
B3



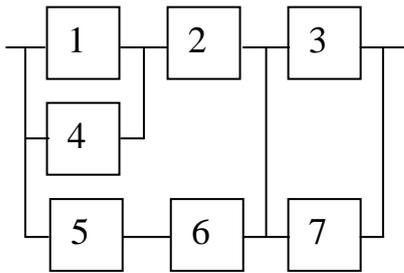
B4



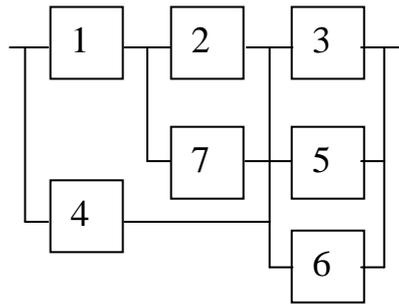
B5



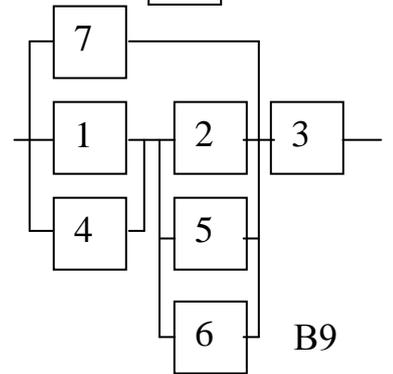
B6



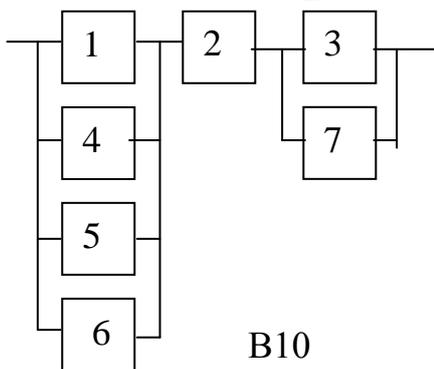
B7



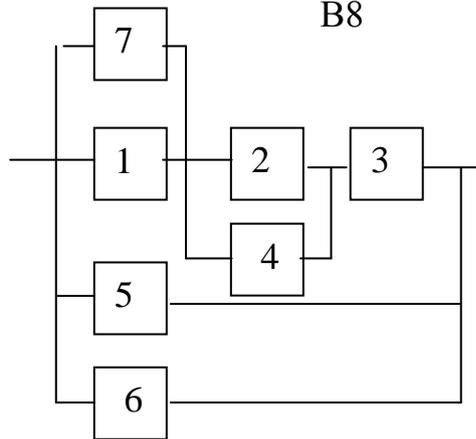
B8



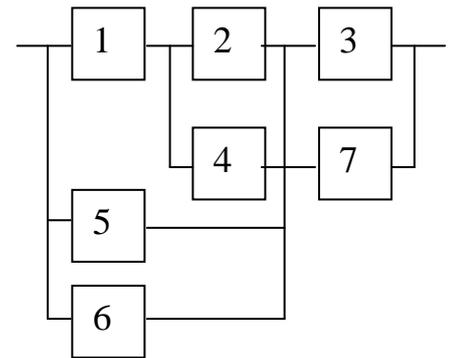
B9



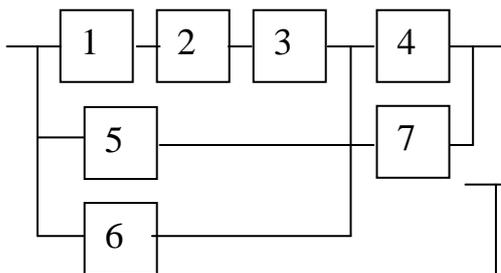
B10



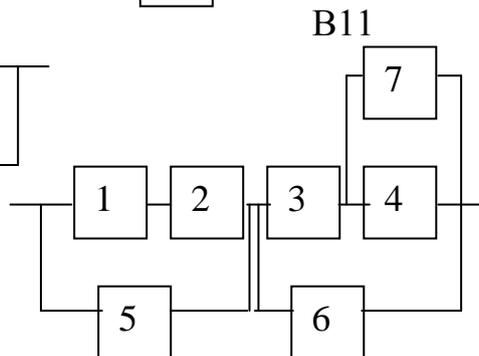
B11



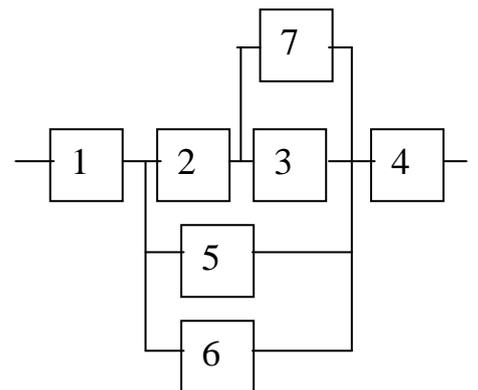
B12



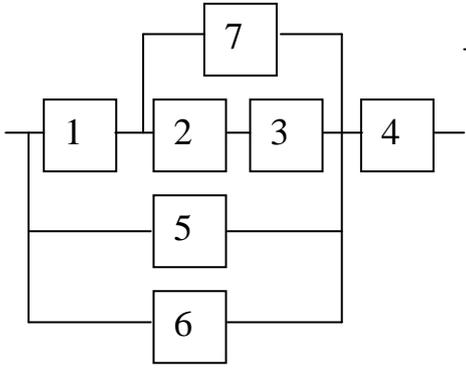
B13



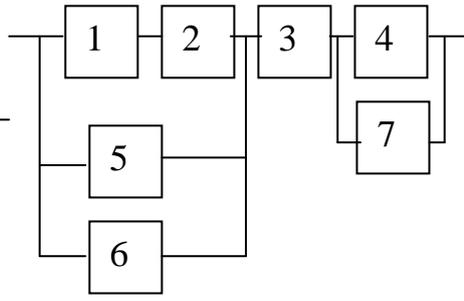
B14



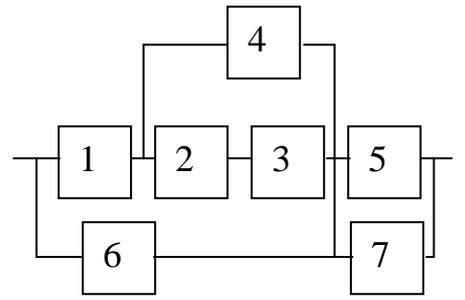
B15



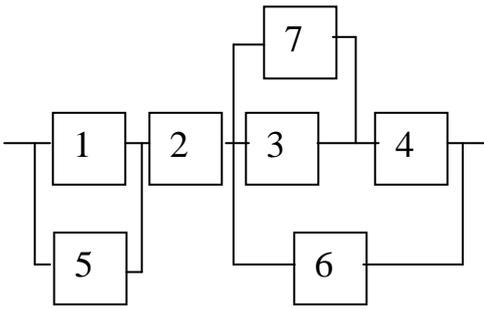
B16



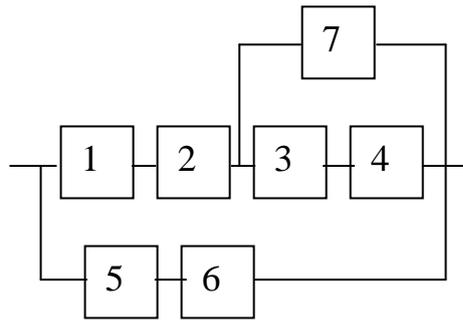
B17



B18



B19



B20

## Приложение Б

Варианты численных значений интенсивностей отказов отдельных элементов, входящих в рассматриваемый объект.

Номер варианта	Интенсивности отказов элементов, $\lambda_i 10^{-6} 1/\text{час}$						
	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	$\lambda_7$
1	1	4	7	3	2	6	5
2	6	2	1	5	3	4	7
3	7	5	2	4	6	1	3
4	3	6	4	7	5	2	1
5	5	3	6	1	4	7	2
6	8	7	10	6	9	12	11
7	12	9	8	11	7	11	6
8	11	10	7	9	12	6	8
9	9	6	12	8	11	10	7
10	7	12	9	10	6	8	11
11	10	13	14	15	12	11	9
12	14	15	10	9	13	12	11
13	12	10	11	13	14	9	15
14	11	9	13	12	10	15	14
15	14	13	9	11	12	10	15
16	1	3	5	7	9	11	13
17	5	11	9	1	13	7	3
18	9	1	7	3	5	13	11
19	7	5	1	11	9	3	13
20	11	13	9	5	1	7	3