МОСКОВСКИЕ КОЛЛЕДЖИ

МДК 02.03 Математическое моделирование

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3
Студент: Фамилия Имя Отчество
(E-Mail: …@...)

Код и наименование специальности: 09.02.07 Информационные системы и программирование

Наименование программы: Математическое моделирование

Модуль: МДК 02.03 Математическое моделирование

Авторы курса: Попов Александр Леонидович (pal_300353@mail.ru)

ГБПОУ ТПСК им. В. М. Максимчука

Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

Руководства:

№	Наименование	Автор	Издательство и год
1.	Математическое моделирование в MS Excel. Методические указания.	Моисеев С.И.	Институт менеджмента, маркетинга и финансов, 2016. – 25 с.
2.	МДК 02.03 Математическое моделирование. Методические указания.	Е.С. Игнатенко	Нефтеюганск, 2019. -114 с.
3.	Калькуляторы по направлениям (Примеры решений)		https://math.semestr.ru/example.php

Видеокурсы:

№	Наименование	Автор	Издательство и год
1.	Курс «Математическое моделирование»	ПостНаука / Skoltech	https://www.youtube.com/watch?v=t5p0v8MA_G8&list=PLh6dVTO7f4Fb8vBUvhzZ6eJNHFPFyXm8f

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Занятие 11. Составление систем уравнений Колмогорова. Нахождение финальных вероятностей. Нахождение характеристик простейших систем массового обслуживания. (2ч)

1. Составление систем уравнений Колмогорова

Цель работы: отработать и закрепить умения составлять системы уравнений Колмогорова, отработать и закрепить умения находить финальные вероятности, отработать и закрепить умения определите основные показатели СМО.

Краткая теория

Марковский случайный процесс

Построение математических моделей в условиях неопределенности - очень сложная или невыполнимая задача. Лишь для некоторых упрощенных случаев можно построить математическую модель.

Следует различать два вида неопределенности:

- вероятностные характеристики либо известны, либо могут быть получены в результате эксперимента. Такая неопределенность называется стохастической, и для большинства объектов, содержащих такую неопределенность, можно построить математическую модель, например выход из строя оборудования, приход нового клиента и т. д.
- вероятностные характеристики определить невозможно. В этом случае задачу можно попытаться решить с помощью экспертных оценок, но результат будет весьма приблизительным, например, каковы будут модели женской одежды через пять лет?

Строгую математическую модель с аналитическим вычислением всех интересующих величин можно построить только в том случае, если случайный процесс носит марковский характер.

1. Составление систем уравнений Колмогорова

Случайный процесс будет марковским, если вероятностные характеристики процесса в момент времени t зависят только от текущего (настоящего) состояния процесса в этот момент времени t и не зависят от того, как (каким способом и когда) рассматриваемый процесс перешел в текущее состояние.

Из всего многообразия марковских процессов хорошо изучены и представляют большой практический интерес ***марковские случайные процессы с дискретными состояниями и непрерывным временем.***

Под дискретным состоянием будем понимать, что процесс переходит из одного состояния в другое скачкообразно за очень короткое время (практически мгновенно), и количество этих состояний известно (фиксировано).

Под непрерывным временем будем понимать такое, при котором переход из одного допустимого состояния в другое допустимое состояние происходит в произвольные моменты времени, т. е. заранее не определенные.

Потоки событий. Однородные события, следующие друг за другом в произвольные моменты времени (случайно), называются потоком событий (или входным потоком заявок). Примерами потоков событий могут быть: поток пассажиров в авиакассе, поток посетителей парикмахерской, поток отказов технического устройства и т.д. Здесь под событием понимается факт поступления заявок на обработку (приход покупателя, наличие отказа технического средства, поступление телефонного вызова и т.д.), а не результат его обработки (как это рассматривается в теории вероятностей). Поэтому в системах массового обслуживания вероятностными характеристиками будет обладать не отдельное событие, а интервал времени.

Интенсивностью λ потока событий называется среднее число событий за единицу времени. Интенсивность λ может быть как числом постоянным (константой), так и величиной зависящей от времени t. Например, количество пассажиров в городском транспорте в «часы пик» резко увеличивается по сравнению с другим временем суток.

1. Составление систем уравнений Колмогорова

Финальные вероятности состояний

Будем рассматривать марковские процессы с дискретными состояниями и непрерывным временем.

Пример 1 : Техническое устройство состоит из трёх узлов и в любой момент времени может находиться в одном из восьми состояний (рис. 1).

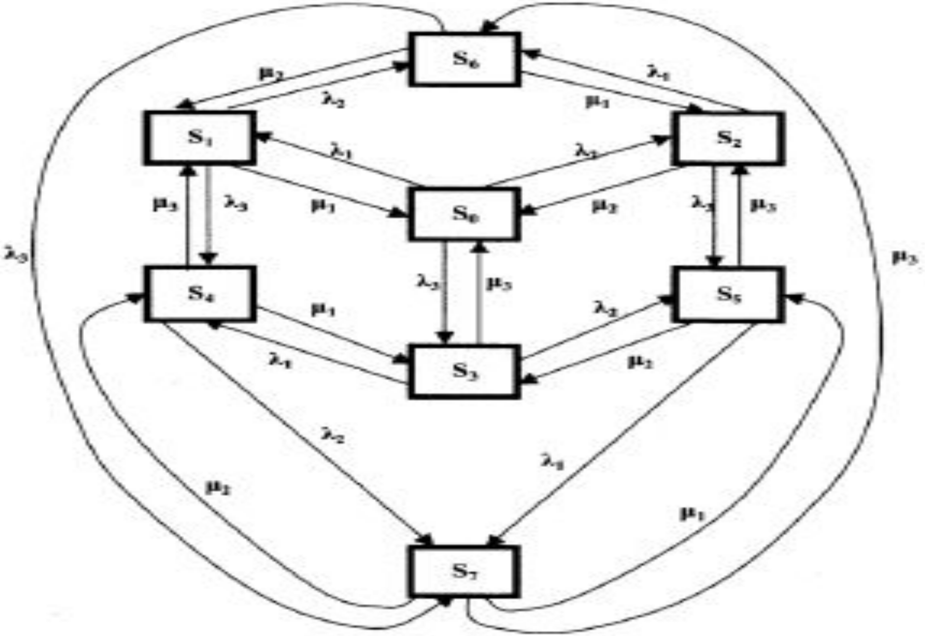

Рис. Состояния технического устройства

1. Составление систем уравнений Колмогорова

Возможные состояния устройства таковы:

S_0 — все три узла исправны;

S_1 — первый узел неисправен, второй и третий исправны;

S_2 — второй узел неисправен, первый и третий исправны;

S_3 — третий узел неисправен, первый и второй исправны;

S_4 — первый и третий узлы неисправны, второй исправен;

S_5 — второй и третий узлы неисправны, первый исправен;

S_6 — первый и второй узлы неисправны, третий исправен;

S_7 — все три узла неисправны.

Размеченным графом будем считать такой граф, у которого стрелками указаны переходы из одного состояния в другое, а рядом со стрелкой указана интенсивность перехода. Будем различать две интенсивности — прямую λ, и обратную μ.

Тогда λ_1, λ_2 и λ_3 — интенсивности потоков отказов соответственно первого, второго и третьего узлов, а μ_1, μ_2 и μ_3 — соответственно интенсивности потоков возвратов (ремонтов) узлов.

Если для ремонта каждого узла имеется отдельный специалист, то среднее время ремонта каждого узла есть величина постоянная и не имеет значения, один или несколько узлов вышли из строя.

1. Составление систем уравнений Колмогорова

На основе построенного размеченного графа (см. рис. 1) создадим математическую модель.

Наше техническое устройство в соответствии с построенным графом в любой момент времени будет находиться в одном из восьми возможных состояний. Обозначим вероятность каждого i-го состояния как $p_i(t)$, тогда

$$\sum_{i=1}^{8} p_i(t) = 1.$$

Для определения вероятности каждого состояния технического устройства составим соответствующие дифференциальные уравнения:

$$\begin{cases}
\dfrac{d_{p_1}(t)}{dt} = \lambda_1\rho_0 + \mu_3 p_4 + \mu_2\rho_6 - (\mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3)p_1 \\
\dfrac{d_{p_2}(t)}{dt} = \lambda_2\rho_0 + \mu_3 p_5 + \mu_1\rho_6 - (\mu_2 + \lambda_1 + \lambda_3)p_2 \\
\dfrac{d_{p_3}(t)}{dt} = \lambda_3\rho_0 + \mu_2 p_5 + \mu_1\rho_4 - (\mu_3 + \lambda_1 + \lambda_2)p_3; \\
\dfrac{d_{p_4}(t)}{dt} = \lambda_1\rho_5 + \lambda_3 p_1 + \mu_2\rho_7 - (\mu_1 + \mu_3 + \lambda_2)p_4; \\
\dfrac{d_{p_5}(t)}{dt} = \mu_1\rho_7 + \lambda_2 p_3 + \lambda_3\rho_2 - (\lambda_1 + \mu_2 + \mu_3)p_5; \\
\dfrac{d_{p_6}(t)}{dt} = \lambda_1\rho_2 + \lambda_2 p_1 + \mu_3\rho_7 - (\mu_1 + \mu_2 + \lambda_3)p_6; \\
\dfrac{d_{p_7}(t)}{dt} = \lambda_1\rho_5 + \lambda_2 p_4 + \lambda_3\rho_6 - (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)p_7; \\
\dfrac{d_{p_0}(t)}{dt} = \mu_1\rho_1 + \mu_2 p_2 + \mu_3\rho_3 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)p_0.
\end{cases}$$

1. Составление систем уравнений Колмогорова

Эта система дифференциальных уравнений называется **системой уравнений Колмогорова.** Имеем систему из восьми линейных дифференциальных уравнений с восемью неизвестными. Известно, что сумма всех вероятностей равна единице, т. е.

$$p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7 = 1$$

Таким образом, любое из уравнений, входящее в систему уравнений, можно записать, используя последнее уравнение, и найти значения вероятностей для каждого события.

Для облегчения процесса составления дифференциальных уравнений можно применить следующее правило:

В левой части каждого уравнения следует записать производную вероятности i-го состояния устройства.

В правой части сумма произведений потока событий, входящих в текущее состояние, умноженная на вероятность состояния, из которого исходит поток, минус суммарная интенсивность исходящих потоков событий из текущего состояния, умноженная на вероятность текущего состояния.

Если финальные вероятности существуют: $\lim_{t \to \infty} p_i(t) = p_i$ при $i = 1, 2, 3, \ldots, n,$

то их сумма будет равна единице: $$\sum_{i=1}^{n} p_i = 1.$$

Финальные вероятности показывают, какое среднее время устройство будет находиться в каждом состоянии. Финальные вероятности находятся из системы дифференциальных уравнений, если их правые части приравнять нулю.

1. Составление систем уравнений Колмогорова

$$\begin{cases} 0 = \lambda_1 p_0 + \mu_3 p_4 + \mu_2 p_6 - (\mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3) p_1; \\ 0 = \lambda_2 p_0 + \mu_3 p_5 + \mu_1 p_6 - (\mu_2 + \lambda_1 + \lambda_3) p_2; \\ 0 = \lambda_3 p_0 + \mu_2 p_5 + \mu_1 p_4 - (\mu_3 + \lambda_1 + \lambda_2) p_3; \\ 0 = \lambda_1 p_3 + \lambda_3 p_1 + \mu_2 p_7 - (\mu_1 + \mu_3 + \lambda_2) p_4; \\ 0 = \mu_1 p_7 + \lambda_2 p_3 + \lambda_3 p_2 - (\lambda_1 + \mu_2 + \mu_3) p_5; \\ 0 = \lambda_1 p_2 + \lambda_2 p_1 + \mu_3 p_7 - (\mu_1 + \mu_2 + \lambda_3) p_6; \\ 0 = \mu_1 p_1 + \mu_2 p_2 + \mu_3 p_3 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) p_0; \\ p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7 + p_0 = 1. \end{cases}$$

Второй (отрицательный) член каждого выражения перенесем в левую часть

$$\begin{cases} p_1(\mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3) = \lambda_1 p_0 + \mu_3 p_4 + \mu_2 p_6; \\ p_2(\mu_2 + \lambda_1 + \lambda_3) = \lambda_2 p_0 + \mu_3 p_5 + \mu_1 p_6; \\ p_3(\mu_3 + \lambda_1 + \lambda_2) = \lambda_3 p_0 + \mu_2 p_5 + \mu_1 p_4; \\ p_4(\mu_1 + \mu_3 + \lambda_2) = \lambda_1 p_3 + \lambda_3 p_1 + \mu_2 p_7; \\ p_5(\lambda_1 + \mu_2 + \mu_3) = \mu_1 p_7 + \lambda_2 p_3 + \lambda_3 p_2; \\ p_6(\mu_1 + \mu_2 + \lambda_3) = \lambda_1 p_2 + \lambda_2 p_1 + \mu_3 p_7; \\ p_0(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) = \mu_1 p_1 + \mu_2 p_2 + \mu_3 p_3; \\ p_7 = 1 - p_0 - p_1 - p_2 - p_3 - p_4 - p_5 - p_6. \end{cases}$$

Подставим конкретные значения (указанные выше) прямых и обратных интенсивностей

$$\begin{cases} p_1(2+2+1) = 1p_0 + 2p_4 + 4p_6; \\ p_2(4+1+1) = 2p_0 + 2p_5 + 2p_6; \\ p_3(2+1+2) = 1p_0 + 4p_5 + 2p_4; \\ p_4(2+2+2) = 1p_3 + 1p_4 + 4p_6; \\ p_5(1+2+4) = 2p_7 + 2p_3 + 1p_2; \\ p_6(2+4+1) = 1p_2 + 2p_1 + 2p_7; \\ p_0(1+2+1) = 2p_1 + 4p_2 + 2p_3; \\ p_7 = 1 - p_0 - p_1 - p_2 - p_3 - p_4 - p_5 - p_6. \end{cases}$$

После выполнения арифметических действий получим:

$$\begin{cases} 5p_1 = p_0 + 2p_4 + 4p_6; \\ 6p_2 = 2p_0 + 2p_5 + 2p_6; \\ 5p_3 = p_0 + 4p_5 + 2p_4; \\ 6p_4 = p_3 + p_1 + 4p_7; \\ 7p_5 = 2p_7 + 2p_3 + p_2; \\ 7p_6 = p_2 + 2p_1 + 2p_7; \\ 4p_0 = 2p_1 + 4p_2 + 2p_3; \\ p_7 = 1 - p_0 - p_1 - p_2 - p_3 - p_4 - p_5 - p_6. \end{cases}$$

1. Составление систем уравнений Колмогорова

Из первого уравнения выразим $p_1 = \frac{1}{5} p_0 + \frac{2}{5} p_4 + \frac{4}{5} p_6$ и подставим его в остальные уравнения:

$$\begin{cases} 6p_2 = 2p_0 + 2p_5 + 2p_6; \\ 5p_3 = p_0 + 4p_5 + 2p_4; \\ \frac{28}{5} p_4 = p_3 + 4p_7 + \frac{1}{5} p_0 + \frac{4}{5} p_6; \\ 7p_5 = p_2 + 2p_3 + 2p_7; \\ \frac{27}{2} p_6 = \frac{2}{5} p_0 + \frac{4}{5} p_4 + p_2 + 2p_7; \\ \frac{48}{5} p_0 = \frac{4}{5} p_4 + \frac{8}{5} p_6 + 4p_2 + 2p_3; \\ p_7 = 1 - \frac{6}{5} p_0 - p_2 - p_3 - \frac{7}{5} p_4 - p_5 - \frac{9}{5} p_6. \end{cases}$$

Аналогично выражаем $p_2 = \frac{1}{3} p_0 + \frac{1}{3} p_5 + \frac{1}{3} p_6$ и подставляем в оставшиеся уравнения и получаем:

$$\begin{cases} 5p_3 = p_0 + 4p_5 + 2p_4; \\ \frac{28}{5} p_4 = p_3 + 4p_7 + \frac{1}{5} p_0 + \frac{4}{5} p_6; \\ \frac{20}{3} p_5 = \frac{1}{3} p_0 + \frac{1}{3} p_6 + 2p_3 + 2p_7; \\ \frac{79}{6} p_6 = \frac{11}{15} p_0 + \frac{4}{5} p_4 + \frac{1}{3} p_5 + 2p_7; \\ \frac{124}{15} p_0 = 2p_3 + \frac{4}{5} p_4 + \frac{4}{3} p_5 + \frac{44}{15} p_6; \\ p_7 = 1 - \frac{23}{15} p_0 - p_2 - p_3 - \frac{7}{5} p_4 - \frac{4}{3} p_5 - \frac{32}{15} p_6. \end{cases}$$

1. Составление систем уравнений Колмогорова

Выражаем $p_3 = \frac{1}{5}p_0 + \frac{4}{5}p_5 + \frac{2}{5}p_4$ и подставляем в оставшиеся уравнения и получаем:

$$\begin{cases} \frac{26}{5}p_4 = \frac{2}{5}p_0 + \frac{4}{5}p_6 + 4p_7 + \frac{4}{5}p_5; \\ \frac{76}{15}p_5 = \frac{11}{15}p_0 + \frac{1}{3}p_6 + 2p_7 + \frac{4}{5}p_4; \\ \frac{79}{6}p_6 = \frac{11}{15}p_0 + \frac{4}{5}p_4 + \frac{1}{3}p_5 + 2p_7; \\ \frac{20}{30}p_0 = \frac{8}{5}p_4 + \frac{44}{15}p_5 + \frac{44}{15}p_6; \\ p_7 = 1 - \frac{26}{15}p_0 - \frac{9}{5}p_4 - \frac{32}{15}p_5 - \frac{32}{15}p_6. \end{cases}$$

Из первого выражения выразим $p_4 = \frac{1}{13}p_0 + \frac{2}{13}p_5 + \frac{2}{13}p_6 + \frac{10}{13}p_7$ и подставим в оставшиеся уравнения.

После выполнения преобразований получим:

$$\begin{cases} \frac{964}{13*15}p_5 = \frac{31}{3*13}p_0 + \frac{891}{1*153}p_6 + \frac{18}{13}p_7; \\ p_6 = \frac{310}{5087}p_0 + \frac{178}{5087}p_5 + \frac{828}{5087}p_7; \\ p_0 = \frac{155}{319}p_5 + \frac{155}{319}p_6 + \frac{60}{319}p_7; \\ p_7 = \frac{13}{11} - \frac{73}{93}p_0 - \frac{94}{93}p_5 - \frac{94}{93}p_6. \end{cases}$$

1. Составление систем уравнений Колмогорова

Из первого уравнения выразим $p_5 = \frac{155}{964}p_0 + \frac{89}{964}p_6 + \frac{135}{482}p_7$ и подставим в оставшиеся уравнения:

$$\begin{cases} p_6 = \dfrac{54405}{814671}p_0 + \dfrac{1414042}{814671}p_7; \\ p_0 = \dfrac{54405}{94497}p_6 + \dfrac{33230}{94497}p_7; \\ p_7 = \dfrac{6266}{19172} - \dfrac{42471}{57516}p_0 - \dfrac{49491}{57516}p_6. \end{cases}$$

Из первого уравнения ρ_6 в оставшиеся уравнения:

$$\begin{cases} p_0 = \dfrac{17372453670}{37012030731}p_7; \\ p_7 = 0{,}2845 - 0{,}6927p_0. \end{cases}$$

Из первого уравнения p_0 подставим в оставшиеся уравнения:

$$p_7 = 0{,}2845 + 0{,}6927 * 0{,}4697p_7 \qquad p_7 = \frac{0{,}2845}{1{,}3254} = 0{,}2146.$$

1. Составление систем уравнений Колмогорова

Определим остальные вероятности, подставляя полученные результаты в обратном порядке

P_0= 0,46940 *0,21146=0,1007;

P_6 =0,06678 *0,107 +0,1731 *0,2146=0,04387;

P_5= 0,1608*0,1007+0,09232*0,04387+0,2801*0,2146=0,08035;

P_4=0,07692*0,1007+0,1538*0,08035+0,1538*0,04387+0,7692*0,2146=0,08035;

P_3=0,2*0,1007+0,8*0,080035+0,4*0,1853=0,1585;

P_2=0,3333*0,1007+0,3333*0,08035+0,3333*0,04387=0,07498;

P_1=0,2*0,1007+0,4*0,1853+0,8*0,04387=0,1294.

Выполним проверку. Сумма вероятностей всех событий должна быть равна единице.

$p_0+p_1+p_2+p_3+p_4+p_5+p_6+p_7=1$

0,1294+0,07498+0,1585+0,1853+0,08035+0,043870+0,04387+0,1007+0,2146=0,9877

Полученный результат меньше единицы, так как значение каждой вероятности было округленно.

1. Составление систем уравнений Колмогорова

- **Уравнения Колмогорова. Предельные вероятности состояний (https://math.semestr.ru/cmo/kolmogorov.php)**
- **Результаты (PrtScn):**

2. Системы массового обслуживания (СМО). Основные понятия.

Системы массового обслуживания (https://math.semestr.ru/cmo/example1.php)

За последние десятилетия в самых разных областях народного хозяйства возникла необходимость решения вероятностных задач, связанных с работой систем массового обслуживания.

Примерами таких систем служат телефонные станции, ремонтные мастерские, торговые предприятия, билетные кассы и т.д. работа любой системы массового обслуживания состоит в обслуживании поступающего в нее потока требований (вызовы абонентов, при ход покупателей в магазин, требования на выполнение работы в мастерской и т. д.).

Математическая дисциплина, изучающая модели реальных систем массового обслуживания, получила название теории массового обслуживания. Задача теории массового обслуживания - установить зависимость результирующих показателей работы системы массового обслуживания (вероятности того, что требование будет обслужено; математического ожидания числа обслуженных требований и т. д.) от входных показателей (количество приборов в системе, параметров входящего потока требований и т. д.) установить такие зависимости в формульном виде можно только для простых систем массового обслуживания. Изучение же реальных систем проводится путем имитации, или моделирования их работы на ЭВМ с привлечением метода статистических испытаний.

2. Системы массового обслуживания (СМО). Основные понятия.

Классификация систем массового обслуживания

СМО могут быть двух видов:

♦ СМО с отказами;

♦ СМО с ожиданием (т. е. с очередью).

Обслуживание в системах с очередью может иметь различный характер:

Ø обслуживание может быть упорядоченным;

Ø обслуживание в случайном порядке;

Ø обслуживание с приоритетом, при этом приоритет может быть с прерыванием и без прерывания.

Системы с очередью делятся на: системы *с неограниченным ожиданием*, при этом поступившая в СМО задача становится в очередь и ждет обслуживания. Рано или поздно она будет обслужена; системы *с ограниченным ожиданием*, при этом на заявку в очереди накладываются ограничения, например ограниченное время пребывания в очереди, длина очереди, общее время пребывания в СМО. В зависимости от типа СМО для оценки эффективности могут быть применены разные показатели.

2. Системы массового обслуживания (СМО). Основные понятия.

Для СМО с отказами используются следующие показатели эффективности: *абсолютная пропускная способность А* – среднее число заявок, которое может быть обслужено в единицу времени; *относительная пропускная способность Q* – относительное среднее число заявок. При этом относительную пропускную способность можно найти по формуле: , где λ – это интенсивность поступления заявок в СМО.

Для СМО с ожиданием абсолютная пропускная способность *А* и относительная пропускная способность *Q* теряют смысл, но важными становятся другие характеристики:

- единица времени ожидания в очереди;
- среднее число заявок в очереди;
- среднее время пребывания в системе.

Для СМО с ограниченной очередью интересны обе группы характеристик.

Одноканальные системы массового обслуживания (https://math.semestr.ru/cmo/cmo.php)

НАЗНАЧЕНИЕ СЕРВИСА СМО. Онлайн-калькулятор предназначен для расчета следующих показателей одноканальных СМО:

- вероятность отказа канала, вероятность свободного канала, абсолютная пропускная способность;
- относительная пропускная способность, среднее время обслуживания, среднее время простоя канала.

3. Одноканальные системы массового обслуживания.

ПРИМЕР №1. Авто заправочная станция имеет одну бензоколонку. Предполагается что простейший поток автомашин поступает на станцию с интенсивностью λ=11 автомашин/ч. Время обслуживания заявки случайная величина которая подчиняется экспоненциальному закону с параметром μ=14 автомашин/ч. Определить среднее число автомашин на станции.

ПРИМЕР №2. Имеется пункт проведения профилактического осмотра машин с одной группой проведения осмотра. На осмотр и выявление дефектов каждой машины затрачивается в среднем 0,4 часа. На осмотр поступает в среднем 328 машин в сутки. Потоки заявок и обслуживаний - простейшие. Если машина, прибывшая в пункт осмотра не застает ни одного канала свободным, она покидает пункт осмотра необслуженной. Определить предельные вероятности состояний и характеристики обслуживания пункта профилактического осмотра. Решение. Здесь $\alpha = 328/24 \approx = 13.67$, $t = 0.4$. Эти данные необходимо ввести в калькулятор.

3. Одноканальные системы массового обслуживания.

- Одноканальные системы массового обслуживания (https://math.semestr.ru/cmo/cmo.php)
- Результаты (PrtScn):

4. Многоканальные системы массового обслуживания.

Многоканальные системы массового обслуживания (https://math.semestr.ru/cmo/mcmo.php)

НАЗНАЧЕНИЕ СЕРВИСА СМО. Сервис предназначен для расчета в онлайн режиме следующих показателей многоканальных СМО:

- вероятность отказа канала, вероятность свободного канала, абсолютная пропускная способность;
- относительная пропускная способность, среднее время обслуживания, среднее время простоя канала.

4. Многоканальные системы массового обслуживания.

ПРИМЕР №1. *В типографию с тремя множительными аппаратами поступают заказы от соседних предприятий на размножение рабочей документации. Если все аппараты заняты, то вновь поступающий заказ не принимается. Среднее время работы с одним заказом составляет 2 часа. Интенсивность потока – 0,5 заявки в час. Найти предельные вероятности состояний и показатели эффективности работы типографии.* Здесь: $n = 3$, **Модель СМО**: Многоканальная СМО с отказами в обслуживании, $\lambda = 0{,}5$ заявки в час, $t_{обс} = 2$ час.

ПРИМЕР №2. Сколько автомобилей следует иметь на станции скорой помощи, если:

1. в среднем в час поступает 10 заявок (вызовов);
2. среднее продолжительность обслуживания одной заявки 1час 20 минут;
3. среднее время ожидания (время от момента вызова до момента выезда бригады) не должно превышать 5 минут.

4. Многоканальные системы массового обслуживания.

- Многоканальные системы массового обслуживания (https://math.semestr.ru/cmo/mcmo.php)
- Результаты (PrtScn):

Благодарю за внимание

ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ ГОРОДА МОСКВЫ
ГУ МЧС РОССИИ ПО ГОРОДУ МОСКВЕ