УДК 519.2

Тян В.К., доктор технических наук, доцент
декан нефтетехнологического факультета
ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет»
Россия, г. Самара
Великанова Ю.В., кандидат физико-математических наук, доцент
доцент кафедры «Общая физика и физика нефтегазового производства»
ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет»
Россия, г. Самара
Великанов А.В.
студент магистратуры
3 курс, Институт заочного образования
ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет»
Россия, г. Самара
Тян В.В.
студент магистратуры
1 курс, нефтетехнологический факультет
ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет»
Россия, г. Самара

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДОКУМЕНТООБОРОТА НЕЗАВИСИМОГО ОРГАНА ПО АТТЕСТАЦИИ ПЕРСОНАЛА В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Аннотация: *проанализирована работа независимого органа по аттестации персонала в области неразрушающего контроля с помощью модели теории вероятности и предложено решение по оптимизации работы.*

Ключевые слова: *неразрушающий контроль, системы массового обслуживания, вероятность состояния, персонал.*

Annotation: *the work of an independent body for certification of personnel in the field of non-destructive testing using the probability theory model is analyzed and a solution for optimization of work is proposed.*

Key words: *nondestructive control, queuing system, the probability of state, employee.*

В наше время непрерывно повышаются требования к безопасности и надежности работы технологического оборудования предприятий нефтехимической и нефтегазовой промышленности.

Неразрушающий контроль (НК) — это незаменимый инструмент для выявления ряда внутренних и поверхностных дефектов, который широко применяется в техническом диагностировании и экспертизе промышленной безопасности *[1, с. 25]*. Он является действенным элементом технического диагностирования оборудования и трубопроводов нефтегазовой промышленности, так как позволяет получить объективные данные о дефектах и повреждениях оборудования без разрушения материалов *[2, с. 12]*.

Значимость информации, получаемой методами НК в контексте безаварийной работы оборудования, трудно переоценить.

Поэтому требования к подготовке и объективной оценке квалификации специалистов НК достаточно жесткие: они подлежат обязательной аттестации, если они аттестуются впервые или истек срок действия ранее выданных удостоверений. Аттестация персонала осуществляется аккредитованными независимыми органами и центрами и связана с большим документооборотом *[3, с. 8]*.

С целью оптимизации процессов документооборота проанализируем последовательно работу независимого органа по аттестации персонала (НОАП) в части документооборота. Здесь основной проблемой НОАП является большой пакет документов от кандидатов на аттестацию, которые необходимо обработать в достаточно сжатые сроки. Взаимодействие с документами осуществляется работниками НОАП на бумажных и электронных носителях. Многократно повторяющаяся информация вносится в различные формы. На каждого обучающегося НОАП оформляются регистрационные карты, опросные листы, листы собеседования, договора, бланки заданий, протоколы, удостоверения и т.д. Помимо этого создаются приказы и распоряжения. При большом входном потоке заявок работники НОАП не успевают обрабатывать документы, и образуется очередь на обработку входных документов, которая при определенных условиях может увеличиваться, а точнее, не уменьшаться до нуля. Это снижает привлекательность и эффективность работы НОАП.

Для решения указанных проблем необходимо провести объективный анализ работы НОАП на базе математического моделирования процессов документооборота.

Адекватным математическим аппаратом анализа документооборота является вероятностный аппарат систем массового обслуживания (СМО). Модель СМО связывает поток заявок, очередь и каналы обслуживания *[4, с. 75-78]*. Под каналами обслуживания подразумеваются работники НОАП, принимающие документы от заявителей.

Исследуем входящий поток заявок, процесс обслуживания и определим количество каналов обслуживания с целью достижения необходимой пропускной способности НОАП. Заявка не может неограниченно долго находиться в очереди, т.е. ожидание ограниченно. Поэтому СМО, моделирующую работу НОАП, можно отнести к системе смешанного типа. Математическая модель смешанного типа с ограничением ожидания может быть описана с помощью уравнений Эрланга.

В любой момент времени t система X может быть в одном из этих дискретных состояний. Обозначим $p_k(t)$, где k = 0,1,2,… вероятность того, что в момент t система будет находиться в состоянии x_k. Очевидно, для любого t

$$\sum_k p_k(t) = 1. \qquad (1)$$

Совокупность вероятностей $p_k(t)$ для каждого момента времени t характеризует данное сечение случайного процесса, протекающего в системе. Напишем уравнения для вероятностей состояний системы. Для этого перечислим эти состояния. Будем их нумеровать не по числу занятых каналов, а по числу связанных с системой заявок. Заявку будем называть «связанной с системой», если она находится в состоянии обслуживания, либо ожидает очереди.

Запишем уравнения для всех вероятностей состояний. Уравнения Эрланга, которые дают предельный закон распределения числа занятых каналов в зависимости от характеристик потока заявок и производительности системы обслуживания *[5, с. 544]*:

$$\frac{dp_0(t)}{dt} = -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t),$$

$$\frac{dp_k(t)}{dt} = \lambda p_{k-1}(t) - (\lambda + k\mu)\, p_k(t) + (k+1)\mu p_{k+1}(t), \qquad (2)$$

$$\frac{dp_{n+s}(t)}{dt} = \lambda p_{n+s-1}(t) - n\mu p_{n+s}(t).$$

Здесь $k= n+s$ – число состояний, n – число каналов, s – число заявок в очереди, λ - плотность потока поступающих заявок (среднее число событий, приходящееся на единицу времени), μ – интенсивность обслуживания (величина, обратная среднему времени обслуживания одной заявки), ν - интенсивность ухода из очереди (величина, обратная среднему сроку ожидания).

Вектор вероятности является бесконечномерным. Ограничим число дифференциальных уравнений, исходя из физических соображений. Математическую модель (2) для любого количества каналов обслуживания удобно представлять системой дифференциальных уравнений в форме Коши в матричной форме

$$dP(t)/dt = AP(t), \qquad (3)$$

где $P(t)$ - вектор вероятности состояний системы, A - динамическая матрица, элементами которой будут являться коэффициенты правой части системы дифференциальных уравнений.

Для 1-канальной, 2-канальной и 3-канальной СМО динамические матрицы имеют соответствующий вид

$$A_1 = \begin{pmatrix} -\lambda & \mu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & -(\lambda+\mu) & (\mu+\nu) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & -(\lambda+\mu+\nu) & (\mu+2\nu) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda & -(\lambda+\mu+2\nu) & (\mu+3\nu) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda & -(\lambda+\mu+3\nu) & (\mu+4\nu) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda & -(\lambda+\mu+4\nu) \end{pmatrix} \qquad (4)$$

$$A_2 = \begin{pmatrix} -\lambda & \mu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & -(\lambda+\mu) & 2\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & -(\lambda+2\mu) & (2\mu+\nu) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda & -(\lambda+2\mu+\nu) & (2\mu+2\nu) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda & -(\lambda+2\mu+2\nu) & 2(\mu+3\nu) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda & -(\lambda+2\mu+3\nu) \end{pmatrix} \qquad (5)$$

$$A_3 = \begin{pmatrix} -\lambda & \mu & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & -(\lambda+\mu) & 2\mu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & -(\lambda+2\mu) & 3\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda & -(\lambda+3\mu) & (3\mu+\nu) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda & -(\lambda+3\mu+\nu) & (3\mu+2\nu) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda & -(\lambda+3\mu+2\nu) & (3\mu+3\nu) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda & -(\lambda+3\mu+3\nu) \end{pmatrix} \qquad (6)$$

При заданных начальных условиях $p_0(0) = 1$, $p_k(0) = 0$ ($k = 0,1,\ldots,n+s$) и параметрах λ, μ, ν найдем вероятности состояний для системы с ожиданием $p_0(t),\ldots, p_k(t)$. Расчеты проводились в программе Mathcad.

Числовые значения λ, μ и ν получены в результате статистических расчетов на основании накопленного опыта работы рассматриваемого НОАП СамГТУ.

Значения μ и ν – являются устоявшимися, μ – 0,25 заявки в единицу времени, ν – не превышает 0,01, а вот λ – меняется в широком диапазоне значений. Выберем наиболее часто встречающийся интервал значений от 0,5 до 0,7 чел/час.

Рассмотрим решение дифференциальных уравнений при $k = 5$ для одно- и двухканальной системы, $k = 6$ для трехканальной системы массового обслуживания, когда все каналы заняты и есть по одной заявке в очереди.
Заметим, что условие нормировки (1) выполняется в любом сечении приближенно в связи с указанным выше ограничением (рис.1-5).
Для одноканальной системы на основании уравнений (3) и (4) получены следующие динамические процессы (рис. 1)

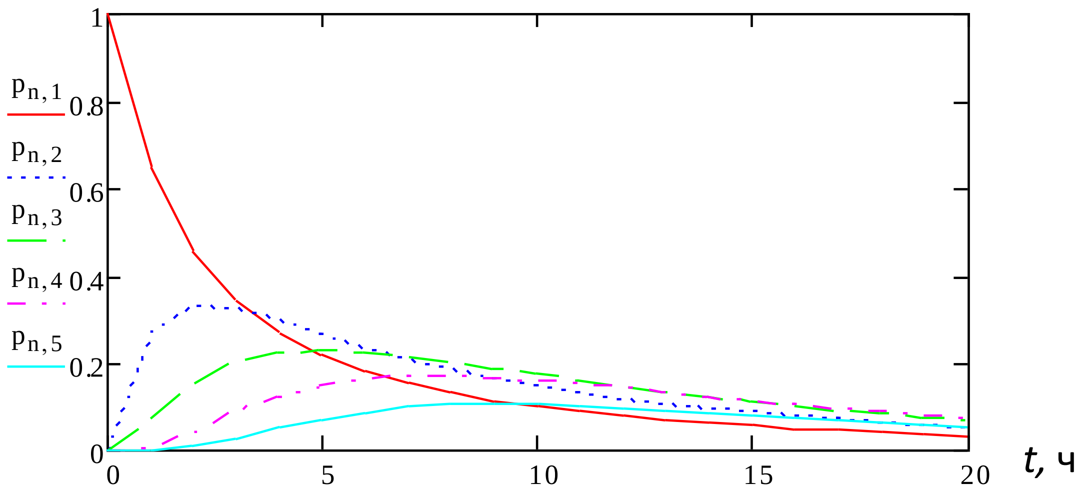

Рис.1 - Графики вероятностей для одноканальной СМО для λ =0,5 чел/час

Из рис. 1 видно, что для одноканальной системы значения вероятностей возрастает с увеличением индекса, т.е. очередь растет. К моменту времени 15 часов максимальное значение имеет вероятность p_4, канал занят в очереди 3 заявки. С увеличением λ до 0,7 чел/час вероятность p_4 устанавливает максимальное значение раньше по времени.

Для двухканальной системы на основании уравнений (3) и (5) получены следующие динамические процессы (рис. 2, 3)

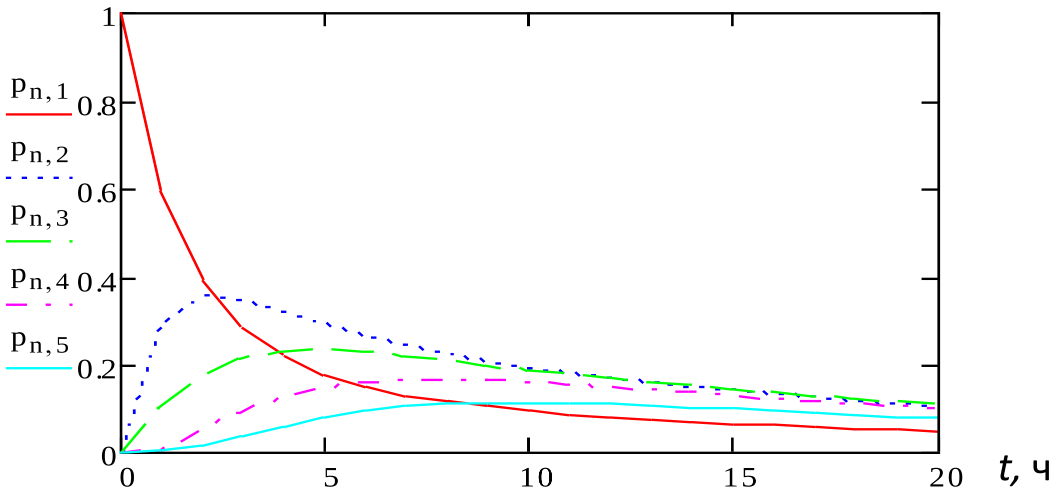

Рис.2 - Графики вероятностей для двухканальной СМО для λ =0,5 чел/час

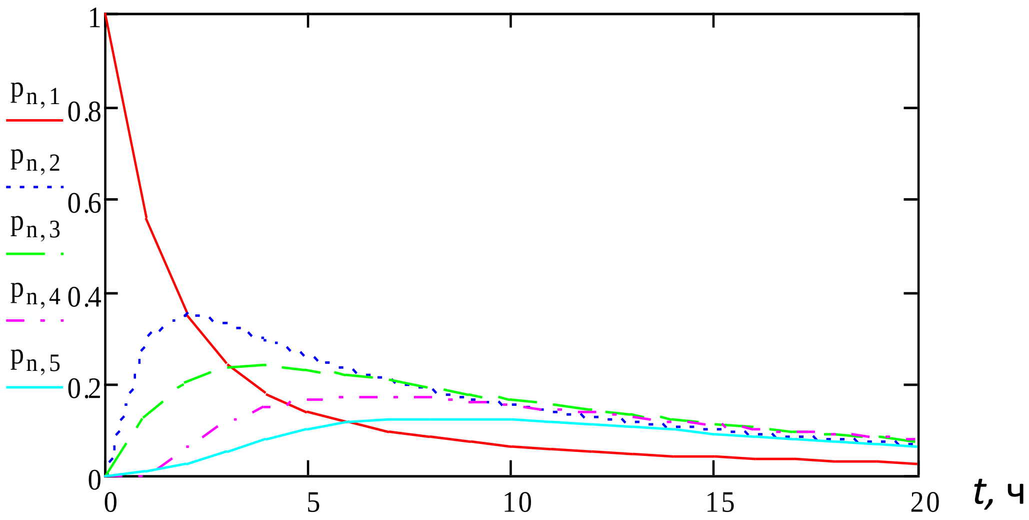

Рис.3 - Графики вероятностей для двухканальной СМО для λ =0,7 чел/час

Из рис.2,3 видно, что для двухканальной СМО с увеличением λ от 0,5 до 0,7 чел/час максимальное значение вероятности к моменту времени 20 часов изменяется от p_3 до p_4, т.е. в любом случае сохраняется очередь из одного - двух человек.

Для трехканальной системы на основании уравнений (3) и (6) получены следующие динамические процессы (рис. 4, 5)

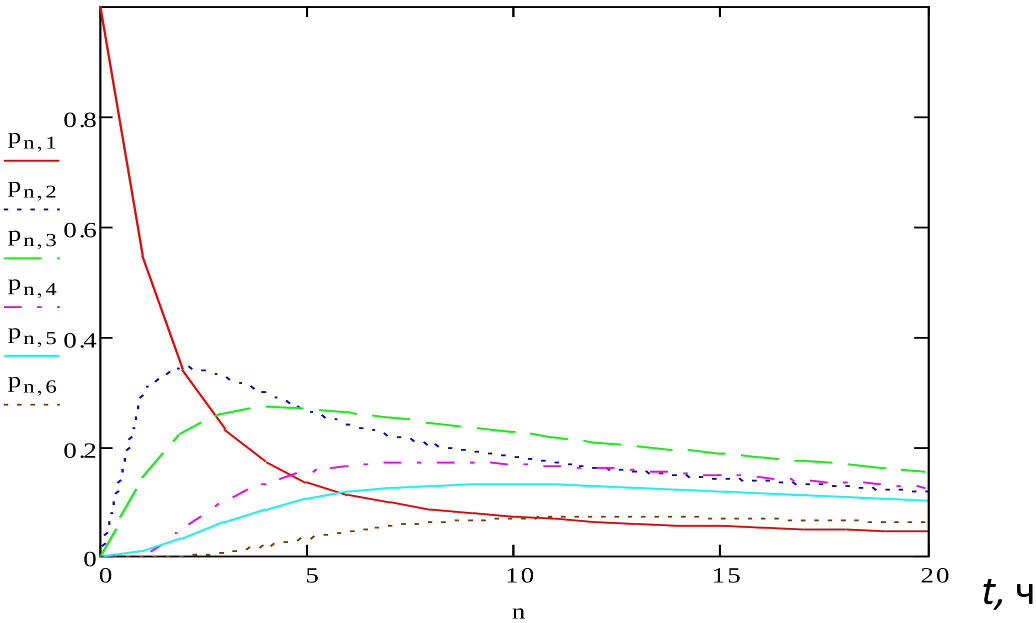

Рис.4 - Графики вероятностей для трехканальной СМО для λ =0,5 чел/час

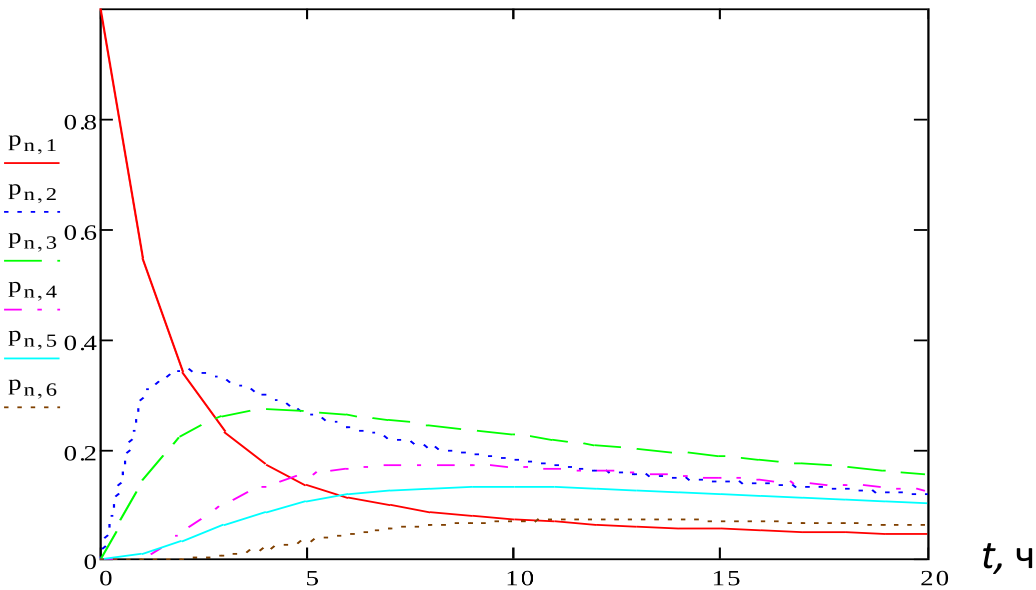

Рис.5 - Графики вероятностей для трехканальной СМО для λ =0,7 чел/час

Для трехканальной системы видно, что при изменении интенсивности потока в работе два или три канала и очереди нет.

Проанализируем полученные результаты на основании интенсивности нагрузки системы $\alpha = \frac{\lambda}{\mu}$ *[5, с. 557]*, которая может служить оценкой эффективности работы НОАП. Если α ≥ *n*, то система не выходит на стационарный режим работы, т.к. число заявок с течением времени будет неограниченно расти. При α < *n* возможен стационарный режим работы и очередь не растет. В нашем случае $2 \le \alpha \le 2{,}8$, что говорит о том, что система выйдет на стационарный режим только при трехканальном обслуживании, что согласуется с результатами, полученными из графиков вероятностей.

Таким образом, на сегодняшний день для обеспечения стационарного режима работы НОАП при указанных параметрах входного потока необходимы три специалиста (минимум), принимающих и оформляющих документы на аттестацию, что обеспечит ритмичность работы без перегрузок персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон Российской Федерации от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 20 июня 1997 г.: в редакции, действующей с 1 января 2019 года.

2. Н.П. Алешин, А.Л. Ремизов, А.А. Дерябин Контроль качества сварных соединений. Курс лекций. Электронное учебное издание. - М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2013. 245 с.

3. ПБ 03-440-02 «Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля» от 23.01.2002 г.

4. Л.С. Качанова Модели системы массового обслуживания Вестник ФГОУ ВПО МГАУ № 8/1'2009, с. 75-78.

5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей 10-е изд. — Москва: Высшая школа, 2006. — 575 с.: ил. — ISBN 5-06-005688-0.