4. Осипчук И.В., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Роль института безопасности жизнедеятельности и научно-педагогического состава кафедры в организации работы с выпускниками // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». 2018. № 3. С. 125–131.

5. Медведева Л.В. Развитие творческого мышления как одна из приоритетных образовательных задач современной высшей школы // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2018. № 4 (28). С. 44–48.

6. Седнев В.А. Методология оценки устойчивости и развития структуры организаций системы образования, осуществляющих образовательную деятельность // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2018. № 2 (26). С. 111–117.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПА КВАЗИРЕГУЛЯРНОСТИ

А.Ю. Лабинский, кандидат технических наук, доцент.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрены особенности моделирования случайных процессов с использованием принципа квазирегулярности. Приведены результаты моделирования марковского случайного процесса для средних численностей состояний автомобильного парка пожарной части путем решения дифференциальных уравнений динамики средних с использованием принципа квазирегулярности. Для решения системы дифференциальных уравнений использована рекуррентная нейронная сеть с обратными связями, реализованная в виде программы для ЭВМ.

Ключевые слова: случайный процесс, система обыкновенных дифференциальных уравнений, нейронная сеть, компьютерная программа, математическая модель

SIMULATE THE RANDOM PROCESS WITH USE THE PRINCIPLE OF QUASIREGULARITY

A.Yu. Labinskiy. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

This article presents the problem of simulate the random process with use the principle of quasiregularity. The neural networks use for solution the system of ordinary differential equation. The neural network to realize in form the mathematical model and computing program.

Keywords: random process, system of ordinary differential equation, neural network, computing program, mathematical model

Разработка математических моделей, описывающих состояния материальных ресурсов пожарных частей МЧС России, позволяет повысить эффективность использования материальных ресурсов и тем самым обеспечить высокую производительность работы пожарных подразделений. В данной работе исследуются состояния системы, в качестве которой рассматривается автомобильный парк пожарной части, путем моделирования состояний элементов системы, представляющих собой пожарные машины.

При большом числе возможных состояний системы использование методов описания случайных процессов, протекающих в системе, с помощью математического аппарата марковских цепей становится затруднительным, так как необходимо будет составить большое число дифференциальных уравнений Колмогорова. Совместное решение большого числа дифференциальных уравнений затруднительно даже при наличии ЭВМ, а при нахождении вероятностей состояний системы результаты будут труднообозримыми [1].

Кроме того, имеется обширный круг задач, в которых целью моделирования случайных процессов является определение средних количеств элементов системы, находящихся в одинаковых состояниях, а не определение вероятностей этих состояний.

Разрешение этих трудностей возможно с помощью метода динамики средних, когда вместо вероятностей состояний системы получают решения для средних характеристик состояния системы [2]. При этом элементы системы считаются однородными, а интенсивности потоков событий – независимыми от средних численностей состояний системы. В методе динамики средних рассматривается не состояние системы в целом, а состояние отдельного элемента системы. Каждый элемент системы может быть в любом из n возможных состояний: $s_1, s_2, \ldots, s_n$.

Состояние системы в целом в каждый момент времени t характеризуется числом элементов системы, находящихся в состоянии s_k, которое будет случайным. Характеристиками случайной величины $X_k(t)$ (численность элементов системы, находящихся в состоянии s_k) являются математическое ожидание и дисперсия: $m_k(t) = M[X_k(t)]$; $D_k(t) = D[X_k(t)]$. Для нахождения этих характеристик нужно знать интенсивности всех потоков событий, переводящих элемент системы из одного состояния в другое.

Таким образом, в методе динамики средних задача описания случайных процессов, протекающих в системе, сводится к определению вероятностей состояния отдельных элементов системы, которые могут быть получены путем решения дифференциальных уравнений (ДУ) Колмогорова [2].

Принцип квазирегулярности

В общем случае интенсивности λ_i потоков событий, переводящих элемент системы из одного состояния в другое, зависят от того, сколько элементов x_i в данном состоянии имеется в системе. Однако величины x_i являются случайными, поэтому и интенсивности потоков событий будут случайными.

Преодоление этого затруднения достигается допущением, названным принципом квазирегулярности [3]. Принцип квазирегулярности состоит в следующем: считается, что интенсивности λ_i потоков событий зависят не от мгновенных значений численности состояний x_i, а от их средних значений m_i (математических ожиданий), то есть $\lambda_i = f(m_i)$.

Погрешность от этого допущения при моделировании тем меньше, чем ближе к линейной зависимость $\lambda_i = f(m_i)$ и чем больше общее количество N элементов системы.

Многочисленные расчеты показывают [3], что при $N = 50 \div 100$ точность моделирования приемлема для инженерных оценок, если же функции $\lambda_i = f(m_i)$ близки к линейным, то приемлемые результаты получаются уже при $N \geq 10$.

Рассмотрим пример моделирования марковского случайного процесса для средних численностей состояний автомобильного парка пожарной части. Каждая пожарная машина, находящаяся в пожарной части, может находиться в исправном состоянии S_1 или в состоянии S_2 – ремонтироваться в мастерской части. Если бы каждая неисправная пожарная машина сразу попадала к свободному мастеру, то никаких очередей из неисправных пожарных машин, ожидающих ремонта, не было бы, и граф состояний пожарных машин имел бы вид, приведенный на рис. 1:

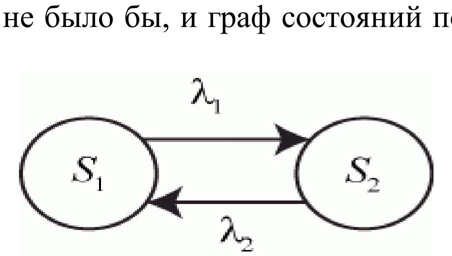

Рис. 1. **Граф состояния пожарных машин, где:**
S_1 – состояние, в котором пожарная машина исправна; S_2 – состояние, в котором пожарная машина неисправна и ремонтируется; λ_1 – интенсивность выхода пожарной машины из строя; λ_2 – интенсивность ремонта пожарной машины одним мастером

В этом случае λ_1 и λ_2 были бы постоянными величинами и, естественно, не зависели бы от численности состояний. Уравнения динамики средних имели бы следующий вид:

$$dm_1/dt = -\lambda_1 * m_1 + \lambda_2 * m_2; \quad dm_2/dt = -\lambda_2 * m_2 + \lambda_1 * m_1; \quad m_1 + m_2 = N,$$

где N – общее число пожарных машин в пожарной части.

Полагаем, что процессы наработки на отказ и ремонта пожарных машин являются марковскими процессами и стационарный режим существует.

Далее предположим, что в мастерской пожарной части два механика и неисправные пожарные машины могут ожидать ремонта. В этом случае интенсивность переходов пожарных машин из неисправного состояния в исправное зависит от числа пожарных машин, находящихся в мастерской. Обозначим эту интенсивность $\tilde{\lambda}_2$. Граф состояний пожарных машин имеет вид, представленный на рис. 2:

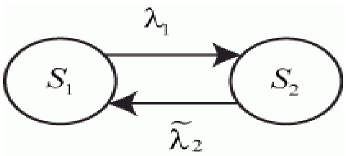

Рис. 2. **Граф состояния пожарных машин**

Общую интенсивность ремонта пожарных машин в мастерской обозначим $\varphi(x_2)$. При $x_2 = 2$ интенсивность ремонта максимальна, так как работают оба механика. При дальнейшем увеличении неисправных пожарных машин x_2 интенсивность $\varphi(x_2)$ возрастать не может. Очевидно, что интенсивность ремонта, приходящаяся на одну пожарную машину, находящуюся в мастерской, будет равна: $\lambda_2 = \varphi(x_2)/x_2$.

Применим принцип квазирегулярности, то есть будем считать, что интенсивность ремонта λ_2 зависит не от случайных численностей неисправных пожарных машин x_2, а от среднего значения (матожидания) таких машин m_2. Тогда интенсивность ремонта $\lambda_2 = \varphi(m_2)/m_2$ и уравнения динамики средних, описывающих случайный процесс изменения средних численностей состояний автомобильного парка пожарной части, примут следующий вид:

$$dm_1/dt = -\lambda_1 * m_1 + \varphi(m_2);$$
$$dm_2/dt = -\varphi(m_2) + \lambda_1 * m_1;$$
$$m_1 + m_2 = N.$$
$$\varphi(m_2) = \lambda_2 * m_2 \text{ при } m_2 < M \text{ и } \varphi(m_2) = \lambda_2 * M \text{ при } m_2 \geq M,$$

где M – количество механиков; λ_2 – интенсивности ремонта одной машины. Начальные условия: $t = 0$, $m_1 = N$, $m_2 = 0$.

Компьютерное моделирование случайного процесса

Рассмотрим влияние среднего времени ремонта пожарной машины на динамику работы пожарной части. Допустим, что в пожарной части находится 10 пожарных машин (N=10) и ремонтом занимаются 5 механиков (M=5).

Пусть среднее время безотказной работы пожарной машины равно T_1 = 15 суток = 0,5 месяца. Тогда интенсивность выхода пожарной машины из строя: $\lambda_1 = 1/T_1 = 2{,}0$. Пусть среднее время ремонта пожарной машины может изменяться от T_2 = 5 дней = 1/6 месяца до T_2 = 1 месяц. Тогда интенсивность ремонта одной пожарной машины будет меняться от $\lambda_2 = 6{,}0$ до $\lambda_2 = 1{,}0$.

Для определения влияния среднего времени ремонта были проведены вычислительные эксперименты на ЭВМ. Для решения указанной выше системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) динамики средних использовалась программа для ЭВМ, реализующая модель рекуррентной нейронной сети [4]. Интерфейс программы, реализующей модель рекуррентной нейронной сети, используемой для решения системы ОДУ, представлен на рис. 3.

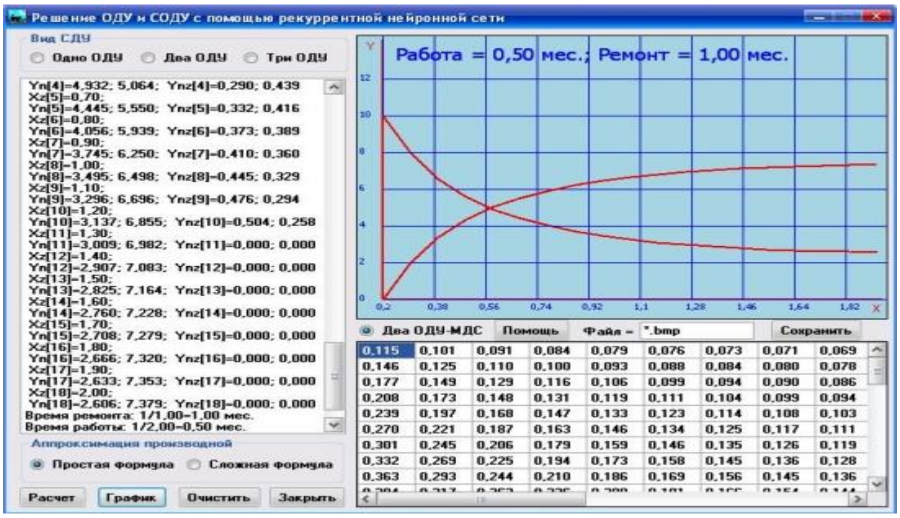

Рис. 3. **Интерфейс программы решения систем ОДУ**

Результаты компьютерного моделирования марковского случайного процесса для средних численностей состояний автомобильного парка пожарной части представлены на графиках (рис. 4, 5):

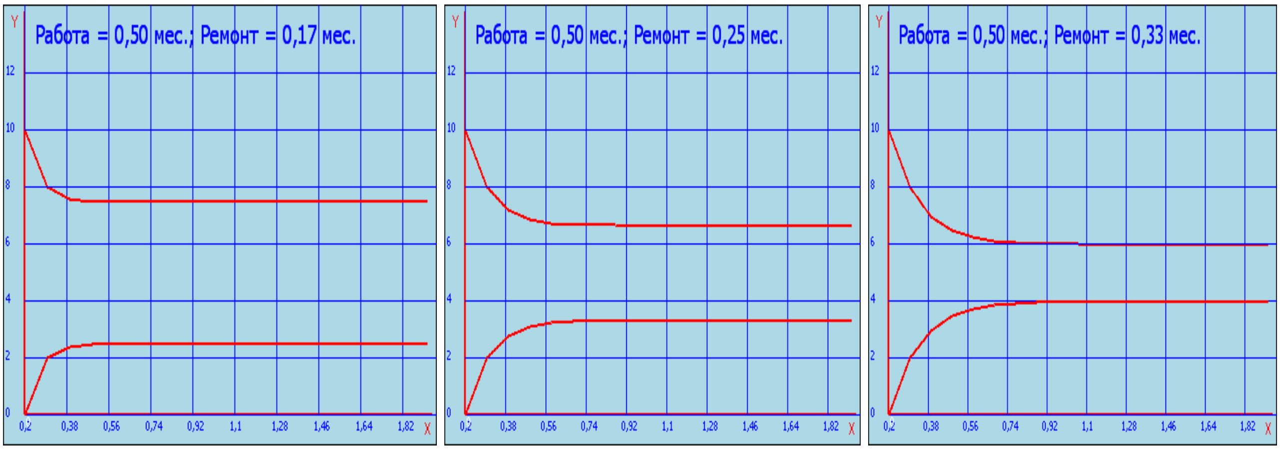

Рис. 4. **Динамика работы пожарной части: продолжительность ремонта пожарных машин T_2 = 1/6 (0,17), 1/4 (0,25) и 1/3 (0,33) месяца**

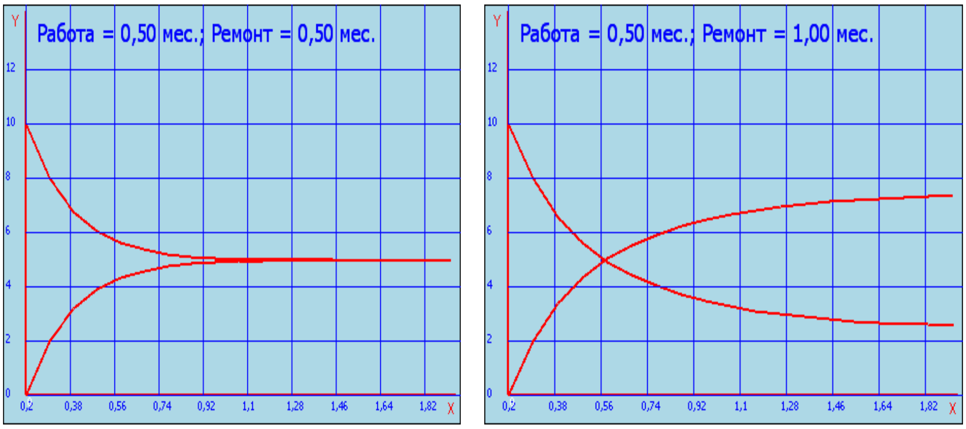

Рис. 5. **Динамика работы пожарной части: продолжительность ремонта пожарных машин T_2 = 1/2 (0,5) месяца и 1 месяц**

Выполнено компьютерное моделирование марковского случайного процесса для средних численностей состояний автомобильного парка пожарной части путем решения дифференциальных уравнений динамики средних с использованием принципа квазирегулярности. Для решения системы дифференциальных уравнений использована рекуррентная нейронная сеть с обратными связями, реализованная в виде программы для ЭВМ. Результаты расчетов показывают, что пожарная часть, имеющая 10 пожарных машин и 5 ремонтирующих пожарные машины механиков, в стационарном (установившемся) режиме работы в зависимости от продолжительности ремонта неисправной пожарной машины, составляющей от 5 дней до 1 месяца, будет иметь от 7 до 3 пожарных машин в рабочем состоянии и от 3 до 7 пожарных машин в состоянии ремонта.

Литература

1. Таха А., Хемли В. Введение в исследование операций. М.: Вильямс, 2015.
2. Астафьева Л.К. Исследование операций. Казань: КГУ, 2012.
3. Волков И.К., Загоруйко Е.А. Исследование операций. М.: МГТУ, 2008.
4. Лабинский А.Ю. Решение систем дифференциальных уравнений с использованием нейронных сетей // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 1. С. 105–112.

К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОЕННЫХ ГОРОДКОВ

В.И. Мусатов;
Г.В. Макарчук, кандидат педагогических наук, доцент.
Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева;
Л.В. Медведева, доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Произведен обзор норм отечественного и международного законодательства, регламентирующих выбросы сточных вод в водоемы на примере военного городка, расположенного на берегу Финского залива. Проведенное исследование позволяет утверждать о необходимости модернизации очистных сооружений военный городков в самые сжатые сроки.

Ключевые слова: сточные воды, загрязнения, гидросфера, канализация, очистные сооружения

REVISITING OF THE MILITARY CAMPS SEWAGE DISPERSAL PLANTS MODERNISATION

V.I. Musatov, G.V. Makarchuk.
Military engineering-technical institute of Military academy of logistics named after General of Army A.V. Khrulev;
L.V. Medvedeva.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia