

## СИСТЕМА МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КАК МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Чемодуров В. Т.<sup>1</sup>, Литвинова Э. В.<sup>2</sup>

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,  
Институт «Академия строительства и архитектуры»,  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181.  
<sup>1</sup>Chens\_mu1@mail.ru, <sup>2</sup>EllaLit@mail.ru

**Аннотация.** Совершенствование системы эксплуатации зданий и сооружений является насущной потребностью в экономии материальных и финансовых средств, а также является актуальным и перспективным научно-техническим направлением. В связи с этим появляется необходимость глубокого анализа влияния возможностей, обслуживающих комплекс строительных сооружений, организаций на общее их техническое состояние. Эту задачу вполне можно решить, если свести весь комплекс мероприятий поддержания строительных сооружений на должном техническом уровне в систему технического обеспечения. Система технического обслуживания строительных сооружений является затратной организацией. Одним из путей оптимизации затрат на обслуживание строительных сооружений является использование математического аппарата к исследованию их функционирования и выработке оптимальных стратегий, связанных с их структурой и организацией выполняемых работ. В этом случае существует настоятельная необходимость использовать хорошо апробированный на практике аппарат массового обслуживания, который дает существенный выигрыш в экономии материальных затрат особенно при обслуживании однотипных по своему назначению зданий.

**Предмет исследования.** Изучение совокупности мероприятий, которые служат поддержанию и восстановлению рабочих свойств технических систем: текущее обслуживание; контроль работоспособности и диагностика; ремонтно-восстановительные работы.

**Материалы и методы.** Теория технического обеспечения систем тесно связана с теорией вероятностей и математической статистики в виду наличия случайных процессов, происходящих в процессе эксплуатации как строительных сооружений в целом, так и внутренних их систем, и оборудования. Использование на практике методов теории массового обслуживания позволяет сформулировать цели исследования для совершенствования системы технического обеспечения строительных сооружений.

**Результаты.** Для получения результатов, имеющих практическую ценность, надо хорошо изучить систему обслуживания, знать вероятностные законы функционирования ее отдельных частей. В этом случае, используя метод Монте-Карло, можно вычислить вероятностные характеристики любой системы, как бы сложна она не была.

**Выводы.** Для получения результатов, имеющих практическую ценность, надо хорошо изучить систему обслуживания, знать вероятностные законы функционирования отдельных ее частей. Моделирование систем массового обслуживания находит (должно находить) широкое применение при создании систем технического обеспечения.

**Ключевые слова:** система технического обеспечения, система массового обслуживания, метод Монте-Карло, математическое ожидание, поток требований, Марковская случайная функция.

### ВВЕДЕНИЕ

В современном обществе необходимо совершенствование методической базы организационно-технологического проектирования строительного производства с помощью компьютерных технологий, развитие алгоритмов вариантного формирования, оценки и выбора организационно-технологических решений строительного производства, в том числе с учетом его вероятностного характера [1].

Совершенствование системы эксплуатации зданий и сооружений является насущной потребностью в экономии материальных и финансовых средств. Совершенствование системы эксплуатации отвечает насущным проблемам развития строительной отрасли, является актуальным и перспективным научно-техническим направлением. В связи с этим появляется необходимость глубокого анализа влияния возможностей, обслуживающих комплекс

строительных сооружений, организаций на общее их техническое состояние. Эту задачу вполне можно решить, если свести весь комплекс мероприятий поддержания строительных сооружений на должном техническом уровне в систему технического обеспечения.

Теория технического обеспечения систем выделилась в самостоятельную и важную ветвь теории эксплуатации. Ее предметом стало изучение совокупности мероприятий, которые служат поддержанию и восстановлению рабочих свойств технических систем.

Важнейшими из них являются [3-7]:

- текущее обслуживание;
- контроль работоспособности и диагностика;
- ремонтно-восстановительные работы.

Система технического обслуживания строительных сооружений является затратной организацией. Затраты связаны с оплатой обслуживающего персонала, стоимостью материалов и приборного оборудования, созданием

определенного запаса элементов конструкции тех или иных систем строительного сооружения. Несомненно, на практике существует стремление к сокращению затрат на содержание системы технического обслуживания. Одним из путей оптимизации затрат на обслуживание строительных сооружений является использование математического аппарата к исследованию их функционирования и выработке оптимальных стратегий, связанных с их структурой и организацией выполняемых работ. В этом случае существует настоятельная необходимость использовать хорошо апробированный на практике аппарат массового обслуживания. Данный аппарат дает существенный выигрыш в экономии материальных затрат особенно при обслуживании однотипных по своему назначению зданий.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В работах Бедова А.И., Сапрыкина В.Ф., Гроздова В.Т., Добромыслова А.Н. и др. рассмотрены методы визуального обследования для оценки технического состояния строительных конструкций [2]. Задачи и требования, выполняемые в процессе технической эксплуатации зданий рассмотрены в работах [3-7]. Решение проблем обеспечения устойчивой безаварийной работы сложных систем рассмотрено в работах [8-11].

Основоположником теории массового обслуживания считается датский ученый А.К. Эрланг. Значительный вклад в создание и разработку общей теории массового обслуживания внесли выдающиеся советские математики А.Я. Хинчин, который разработал метод «вложенных цепей Маркова» и предложил сам термин теория массового обслуживания, и А.Н. Колмогоров [12]. Б.В. Гнеденко обобщил формулы Эрланга, а также рассмотрел случаи потери заявок при отказе канала обслуживания [12].

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Использование на практике методов теории массового обслуживания позволяет сформулировать цели исследования для совершенствования системы технического обеспечения строительных сооружений, к которым можно отнести:

- разработка теоретических основ эффективности эксплуатации строительных сооружений;

- обоснование показателей эффективности эксплуатации строительных объектов;

- разработка на основе имитационного моделирования методов оценивания эффективности эксплуатации строительных объектов.

Теория технического обеспечения тесно связана с теорией вероятностей и математической статистики в виду наличия случайных процессов, происходящих в процессе эксплуатации как строительных сооружений в целом, так и внутренних их систем, и оборудования.

Часть задач исследования функционирования системы массового обслуживания довольно легко решается аналитически. Однако, ряд задач, встречающихся на практике, зачастую оказываются настолько сложными, что получить их характеристики с помощью аналитических методов невозможно. В таких случаях прибегают к искусственному, но достаточно точному воспроизведению реального процесса функционирования системы массового обслуживания. Моделирование подобных систем состоит в построении искусственных реализаций случайных процессов. Такой метод реализации функционирования системы массового обслуживания называется методом Монте-Карло или методом статистических испытаний [14].

Система массового обслуживания (СМО) считается заданной, если определены следующие ее параметры (рисунок 1) [12-13].

1. Входящий поток требований (моменты поступлений требований в систему). Как правило, считают, что требования однородны.

2. Система обслуживания состоит из накопителя и узла обслуживания (прибора – математическая терминология). Узлов обслуживания может быть несколько (ремонтных бригад). В накопителе образуются очереди.

3. Время обслуживания каждым прибором (бригадой).

4. Дисциплина ожидания. В системах без ожидания требование получает отказ, если все приборы заняты. Если требование становится в очередь и ждет своего часа, то такая система называется системой с ожиданием.

5. Дисциплина очереди – совокупность правил, в соответствии с которыми требование отдает предпочтение той или иной очереди.

6. Дисциплина обслуживания – совокупность правил, в соответствии с которыми требование выбирает прибор, которым оно будет обслужено.

Введем следующие обозначения:

- $q / v$  – число требований в системе обслуживания / в накопителе;

- $j$  – число требований в узле обслуживания;

- $s / \rho$  – число приборов / незанятых приборов.

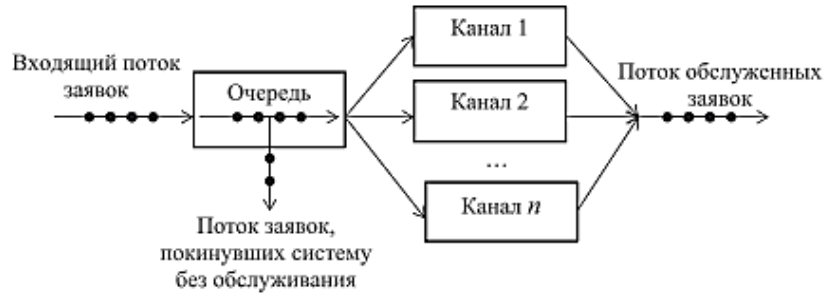


Рис. 1. Структурная схема СМО  
 Fig. 1. Block diagram of the mass service system (MSS)

Очевидно

$$q = v + j, \quad s = j + \rho.$$

На практике обычно моменты поступления требований в систему случайны. В этом случае и поток требований называют случайным. Как правило, является случайной и длительность обслуживания требования. Введем еще ряд обозначений параметров, связанных с теорией вероятностей [14]:

–  $\lambda$  – математическое ожидание числа требований, поступивших в систему обслуживания в единицу времени;

–  $\mu_s$  – математическое ожидание числа требований, обслуженных  $s$  приборами в единицу времени;

–  $\varphi = \lambda/\mu_s$  – коэффициент загрузки системы (в дальнейшем рассматриваем системы, у которых  $\varphi < 1$ );

–  $p_q$  – вероятность того, что в системе обслуживания  $q$  требований ( $0 \leq q \leq q_{max}$ ).

Математическое ожидание числа требований в системе обслуживания

$$M(q) = \sum_{q=0}^{q_{max}} q \cdot p_q.$$

Математическое ожидание числа требований в накопителе

$$M(v) = \sum_{q=s}^{q_{max}} (q - s)p_q.$$

Математическое ожидание числа требований в узле обслуживания

$$M(j) = \sum_{q=0}^s q \cdot p_q + \sum_{q=s+1}^{q_{max}} s \cdot p_q.$$

Математическое ожидание числа свободных приборов

$$M(\rho) = \sum_{q=0}^s (s - q)p_q.$$

Очевидно, что

$$M(q) = M(v) + M(j) \quad \text{и} \quad s = M(j) + M(\rho).$$

Для систем, которые работают уже длительное время, естественно предположить, что математическое ожидание числа требований, покинувших систему за единицу времени, равно математическому ожиданию числа требований,

поступивших в систему за единицу времени, то есть  $\lambda$ .

В этом случае математическое ожидание времени ожидания в накопителе

$$\omega = \frac{M(v)}{\lambda},$$

Математическое ожидание времени пребывания требования в системе

$$u = \frac{M(q)}{\lambda}.$$

Теория массового обслуживания позволяет установить зависимость вероятностных характеристик системы обслуживания от плотности потока требований, производительности приборов, их количества и прочих параметров. Таким образом, включается экономический эффект, очень важно найти наименьшую полную стоимость  $C$  единицы времени ожидания обслуживания в накопителе и простоя приборов

$$C = c_1 M(v) + c_2 M(\rho) = c_1 \sum_{q=s}^{q_{max}} (q - s)p_q + c_2 \sum_{q=0}^s (s - q)p_q. \quad (1)$$

Здесь  $c_1$  – стоимость единицы времени ожидания одного требования;  $c_2$  – стоимость единицы времени простоя одного прибора.

Характеристики системы массового обслуживания зависят от вероятностей  $p_q$  пребывания в системе  $q$  требований. Вычисление  $p_q$  строится на базе теории случайных функций.

Поток требований можно описать с помощью случайной функции  $X(t)$ , которая определяет число требований поступивших в систему за промежуток времени  $(0, t)$  и является дискретным случайным процессом. Она принимает неотрицательные значения и является неубывающей функцией  $P[X(t_i) = m_i]$  – вероятность того, что за время  $(0, t_i)$  поступит  $m_i$  требований. Такой способ задания потока требования является довольно громоздким. На практике чаще всего встречаются потоки, которые, обладая специфическими свойствами, задаются более простыми выражениями. К ним относятся свойства стационарности, отсутствием последействия, ординарности.

Простейшим или пуассоновским потоком требований называется поток, одновременно обладающий свойствами стационарности, ординарности и отсутствия последействия. Можно

показать, что для простейшего потока вероятность появления  $m$  требований определяется формулой

$$p_m(t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^m}{m!}. \quad (2)$$

Таким образом, для полного определения простейшего потока достаточно знать математическое ожидание числа требований, поступивших в систему в единицу времени.

В [12-13] было показано, что поток требований можно считать простейшим, если он получен суммированием достаточно большого числа независимых между собой потоков, влияние каждого из которых на сумму равномерно малое. Например, поток неисправностей систем, состоящих из большого количества узлов (деталей), считается простейшим, если поломки узлов (деталей) независимы между собой, и каждый узел может выйти из строя, лишь с малой вероятностью. На практике достаточно сложить 4-5 потоков, удовлетворяющих указанным условиям, чтобы получить простейший поток.

Важным для аналитического исследования функционирования системы обслуживания является выбор законов распределения для интервала времени между двумя последовательными требованиями и для времени обслуживания требования. Основанием выбора перечисленных законов распределения является добросовестно собранная статистика периодичности появления отказов в отдельных системах строительных сооружений и времени их устранения (восстановления систем). Эти данные (в идеале) должны фиксироваться в разработанном паспорте на каждое строительное сооружение.

Закон распределения интервала времени между двумя последовательными требованиями достаточно точно описывается показательным распределением

$$F(\tau) = 1 - e^{-\lambda \tau}.$$

Его плотность распределения

$$f(\tau) = \lambda e^{-\lambda \tau}$$

Математическое ожидание длительности интервала между двумя последовательными требованиями

$$M(\tau) = \int_0^{\infty} \tau f(\tau) d\tau = \frac{1}{\lambda}.$$

Дисперсия длительности интервала

$$\sigma^2 = M(\tau^2) - [M(\tau)]^2 = \frac{1}{\lambda^2}.$$

Главное свойство показательного закона заключается в следующем: если промежуток времени  $T$  между двумя последовательными требованиями, распределенный по показательному закону, уже длился некоторое время  $\tau_1$ , то это никак не влияет на закон распределения оставшейся части промежутка; он будет таким же, как и закон распределения всего промежутка  $T$ .

Время обслуживания является случайной величиной. Особый интерес представляет случай, когда время обслуживания требования одним прибором имеет показательное распределение:

$$F(t_0) = 1 - e^{-\mu t_0};$$

$$f(t_0) = \mu e^{-\mu t_0},$$

и  $1/\mu$  – математическое ожидание времени обслуживания требования;  $\mu$  – математическое ожидание числа требований, обслуженных прибором в единицу времени, при условии, что он занят непрерывно.

Применительно к времени обслуживания, свойство показательного закона формулируется так: если в какой-то момент времени происходит обслуживание требования, то закон распределения оставшегося времени обслуживания не зависит от того, сколько времени обслуживание уже продолжалось.

Если  $s > 1$ , то  $\mu_s = s\mu$  и  $1/s\mu$  – математическое ожидание времени обслуживания требований  $s$  приборами, которые заняты непрерывно  $\mu_s$  – математическое ожидание числа обслуживания  $s$  приборами за единицу времени при условии, что все они заняты непрерывно. В этом случае поток обслуженных требований называется простейшим.

Обозначим  $X(t)$  – число требований, находящихся в системе в момент времени  $t$ . Функция  $X(t)$  принимает  $(n + 1)$  значения:  $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$ . Функция  $X(t)$  – Марковская случайная функция.

Определим вектор вероятностей  $p(t)$  для любого момента времени  $t$ ;  $p_q(t)$  – вероятность того, что функция  $X(t)$  в момент времени  $t$  принимает значение  $x_q$ ,  $q = (0, 1, \dots, n)$ . Заменяя непрерывное время  $t$  на скачкообразное  $\Delta t$ , сведем функцию  $X(t)$  к простой цепи Маркова. Составим матрицу вероятностей перехода системы из одного состояния в последующее. В интервале  $(t, t + \Delta t)$  могут произойти следующие переходы:

$$\begin{cases} x_0 \rightarrow x_0, & x_0 \rightarrow x_1; \\ x_q \rightarrow x_{q-1}, & x_q \rightarrow x_q, & x_q \rightarrow x_{q+1}, & (n > q > 0); \\ x_n \rightarrow x_{n-1}, & x_n \rightarrow x_n. \end{cases}$$

Определим вероятности следующих событий [14].

1. За интервал  $(t, t + \Delta t)$  в систему не поступит ни одного требования. Используем формулу (2)

$$p_0(\Delta t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^0}{0!} = e^{-\lambda t}.$$

Так как  $e^{-x} = 1 - x + o(x)$  (разложение в ряд Тейлора), то

$$p_0(\Delta t) \approx 1 - \lambda \Delta t.$$

2. За интервал  $(t, t + \Delta t)$  прибор не закончит обслуживание. Вероятность этого события

$$P(T_0 > \Delta t) = 1 - F(\Delta t) = e^{-\mu \Delta t} \approx 1 - \mu \Delta t.$$

Тогда вероятность поступления в систему ровно одного требования за интервал  $(t, t + \Delta t)$  и вероятность того, что за интервал  $(t, t + \Delta t)$  прибор обслужит ровно одно требование, соответственно равны как вероятности противоположных рассмотренных событий:  $1 - (1 - \lambda \Delta t) = \lambda \Delta t$  и  $1 - (1 - \mu \Delta t) = \mu \Delta t$ .

Вычислим вероятность  $p_{qq}(t, t + \Delta t)$ , где  $n > q > 0$ . Если в момент  $t$  в системе находилось  $q$  требований, то событие, состоящее в том, что в момент  $(t + \Delta t)$  в системе по-прежнему будет

находиться  $q$  требований, можно рассматривать как сумму следующих двух несовместных событий.

Событие  $A$  – за интервал  $(t + \Delta t)$  ни одно требование не поступило в систему и ни одно требование не было обслужено, тогда

$$P(A) \approx (1 - \lambda\Delta t)(1 - \mu\Delta t).$$

Событие  $B$  – за интервал  $(t + \Delta t)$  в систему поступило ровно одно требование и за это же время прибор закончил обслуживание одного требования и оно покинуло систему, тогда

$$P(B) \approx \lambda\Delta t \cdot \mu\Delta t.$$

Таким образом,

$$p_{qq}(t, t + \Delta t) \approx (1 - \lambda\Delta t)(1 - \mu\Delta t) + \lambda\Delta t \cdot \mu\Delta t \approx 1 - \lambda\Delta t - \mu\Delta t.$$

Здесь  $2\lambda\mu(\Delta t)^2$  – величина бесконечно малая. Рассуждая аналогично, можно определить и другие вероятности переходов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Модель функционирования системы обеспечения зависит от состава и типа обслуживающих сооружений, их предназначений и насыщением внутреннего оборудования. Рассмотрим одну из возможных систем обслуживания, у которых входящий поток требований – простейший, а время обслуживания требования каждым прибором имеет один и тот же показательный закон распределения. Будем считать, что потоки требований и обслуживаний независимы.

Рассмотрим частный случай – систему с ожиданием и с  $s$  приборами. Параметры системы: узел обслуживания имеет  $s$  приборов и очередь; на количество требований никакие ограничения не накладываются; очередь упорядоченная.

Вероятности перехода (матрица перехода):

Наименование состояния	Вероятность перехода
$x_0 \rightarrow x_0$	$1 - \lambda\Delta t$
$x_0 \rightarrow x_1$	$\lambda\Delta t$
$x_q \rightarrow x_{q-1}, s > q > 0.$	$q\mu\Delta t$
$x_q \rightarrow x_q, s > q > 0.$	$1 - (\lambda + q\mu)\Delta t$
$x_q \rightarrow x_{q+1}, s > q > 0.$	$\lambda\Delta t$
$x_q \rightarrow x_{q-1}, q > s.$	$s\mu\Delta t$
$x_q \rightarrow x_q, q > s.$	$1 - (\lambda + s\mu)\Delta t$
$x_q \rightarrow x_{1+1}, q > s.$	$\lambda\Delta t$

Матрица перехода позволяет создать систему уравнений для определения предельных вероятностей  $p_0, p_1, \dots, p_s, p_{s+1}, \dots, p_{s+n}$ :

$$\left. \begin{aligned} -\lambda p_0 + \mu p_1 &= 0, \\ \lambda p_{q-1} - (\lambda + q\mu)p_q + (q+1)\mu p_{q+1} &= 0 \quad s > q > 0, \\ \lambda p_{q-1} - (\lambda + s\mu)p_q + s\mu p_{q+1} &= 0, \quad q \geq s. \end{aligned} \right\}$$

Далее, необходимо учесть, что  $\varphi = \lambda/\mu_s = \lambda/(s\mu) < 1,0$ . Теперь определяем параметры процесса обеспечения. Вероятность  $p_0$  определяем из нормированного условия

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{q=0}^{s-1} \frac{\varphi^q s^q}{q!} + \frac{s^s \varphi^s}{s!(1-\varphi)}}.$$

Формулы для вероятностей состояния системы:

$$p_q = \frac{\frac{(\varphi s)^q}{q!}}{\sum_{q=0}^{s-1} \frac{\varphi^q s^q}{q!} + \frac{s^s \varphi^s}{s!(1-\varphi)}}, \quad s \geq q \geq 0;$$

$$p_q = \frac{\frac{s!}{s^q \varphi^q}}{\sum_{q=0}^{s-1} \frac{\varphi^q s^q}{q!} + \frac{s^s \varphi^s}{s!(1-\varphi)}}, \quad q \geq s.$$

Математическое ожидание числа требований в накопителе

$$M(v) = \frac{\varphi^{s+1} s^s}{s!(1-\varphi)^2} p_0.$$

Математическое ожидание числа требований в узле обслуживания

$$M(j) = \varphi s.$$

Математическое ожидание числа требований в системе обслуживания

$$M(q) = \frac{\varphi^{s+1} s^s}{s!(1-\varphi)^2} p_0 + \varphi s.$$

Математическое ожидание числа свободных приборов

$$M(\rho) = s(1-\varphi).$$

Время ожидания обслуживания

$$\omega = \frac{M(v)}{\lambda} = \frac{p_0}{\mu} \cdot \frac{\varphi^s s^{s-1}}{s!(1-\varphi)^2};$$

Время пребывания требования в системе

$$u = \frac{M(q)}{\lambda} = \frac{p_0}{\mu} \cdot \frac{\varphi^s s^{s-1}}{s!(1-\varphi)^2} + \frac{1}{\mu}$$

Универсальной оценкой системы обслуживания являются затраты на ее восстановление и потери при вынужденном простое (1).

Рассмотрим одну из самых простых систем массового обслуживания. Система состоит из  $s$  одинаковых приборов; входящий поток – простейший с параметром  $\lambda$ ; время обслуживания одного требования  $t_0$  постоянно. Система без ожидания, то есть требование при занятых приборах покидает систему. Порядок обслуживания следующий: если в момент поступления  $k$ -го требования, первый прибор свободен, то он приступает к обслуживанию требования; если этот прибор занят, то требование обслуживает второй прибор и так далее. Требуется определить, сколько требований в среднем обслужит система за время  $T$  и сколько в среднем отказов она даст?

За начальный момент отсчета выберем момент поступления первого требования  $T_1 = 0$ . Введем следующие обозначения:

- $T_k$  – момент поступления  $k$ -го требования;
- $\tau_k$  – промежуток времени между поступлением в систему  $k$ -го и  $(k+1)$ -го требования;
- $t_i$  – момент окончания обслуживания требования  $i$ -м прибором.

Предположим, что в момент времени  $T_1$  все приборы свободны. Первое требование поступает на 1 прибор. Таким образом, этот прибор в течении  $t_0$  занят. Поэтому  $t_1$  следует заменить на  $t_1 = T_1 + t_0$ , добавив единицу к счетчику обслуженных требований, и перейти к рассмотрению второго требования.

Предположим, что  $k$  требований уже рассмотрено. Определим момент поступления  $(k+1)$ -го требования. Для этого найдем очередное значение *random* равномерно распределенное на интервале  $(0, 1)$  случайной величины и вычислим очередное значение

$$\tau_k = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - \text{random})$$

или

$$\tau_k = -\frac{1}{\lambda} \ln(\text{random})$$

Затем находим момент поступления  $(k+1)$ -го требования  $T_{k+1} = T_k + \tau_k$ . Свободен ли в этот момент первый прибор? Для ответа на этот вопрос необходимо проверить условие  $t_1 \leq T_{k+1}$ . Если это условие выполнено, то к моменту  $T_{k+1}$  первый прибор освободился и может обслуживать требование. В этом случае  $t_1$  заменяем на  $T_{k+1} + t_0$ , добавляя единицу к счетчику обслуженных требований, и переходим к следующему требованию. Если  $t_1 > T_{k+1}$ , то первый прибор в момент  $T_{k+1}$  занят. В этом случае проверяем, свободен ли второй прибор.

Если условие  $t_2 < T_{k+1}$  выполнено, заменяем время  $t_2 = T_{k+1} + t_0$ , добавляя единицу к счетчику обслуженных требований, и переходим к

следующему требованию. Если  $t_2 > T_{k+1}$ , то проверяем условие  $t_3 \leq T_{k+1}$  и так далее.

Если при всех  $i$  от 1 до  $s$  имеем  $t_i > T_{k+1}$ , то в момент  $T_{k+1}$  все приборы заняты. В этом случае прибавляем единицу в счетчик отказов и переходим к рассмотрению следующего требования.

Каждый раз, вычислив  $T_{k+1}$ , надо проверить еще условие окончания реализации  $T_{k+1} > T$ . Если это условие выполнено, то одна реализация случайного процесса функционирования системы воспроизведена и опыт заканчивается. В счетчике обслуженных требований и в счетчике отказов находятся числа  $n_{обс}$  и  $n_{отк}$ .

Получив  $n$  реализаций случайного процесса, найдем математические ожидания обслуженных требований и отказов

$$M(n_{обс}) \approx \frac{1}{n} \sum_{j=1}^s (n_{обс})_j; \quad M(n_{отк}) \approx \frac{1}{n} (n_{отк})_j.$$

где  $(n_{обс})_j$  и  $(n_{отк})_j$  – значения  $n_{обс}$  и  $n_{отк}$  в  $j$ -ом опыте.

## ВЫВОДЫ

Систему технического обеспечения можно представить, как совокупность взаимосвязанных средств, документации технического обслуживания и ремонта и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления зданий и сооружений.

Процесс технического обеспечения можно рассматривать как комплекс операций по поддержанию работоспособности или исправности строительных сооружений и их систем при использовании по назначению.

Системы обеспечения функционирования зданий по своему назначению относятся к системам многоазового действия, их поток отказов может быть принят простейшим, то есть характеризующимся ординарностью, стационарностью и отсутствием последействия. В этом случае можно найти решение для одного из частных случаев. Это случай, когда время безотказной работы и время восстановления системы вполне согласуются с экспоненциальным законом распределения (что вполне отвечает гипотезе наилучших условий).

Для получения результатов, имеющих практическую ценность, надо хорошо изучить систему обслуживания, знать вероятностные законы функционирования отдельных ее частей. Тогда, используя метод Монте-Карло, можно вычислить вероятностные характеристики любой системы, как бы сложна она не была. Моделирование систем массового обслуживания находит (должно находить) широкое применение при создании систем технического обеспечения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев Ю.Н. Компьютерные технологии проектирования строительного производства [Электронный ресурс]: учебное пособие и лабораторный практикум / Ю.Н. Николаев; М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. – Электронные текстовые и графические данные (6,2 Мбайт). – Волгоград: ВолгГАСУ, 2015. – Учебное электронное издание сетевого распространения.
2. Добромислов А.Н. Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам. Справочное пособие / А.Н. Добромислов. – М.: Издательство АСВ, 2004. – 72 с.
3. Абрашитов В.С. Техническая эксплуатация и обследование строительных конструкций: учебное пособие / В.С. Абрашитов. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005. – 104 с.
4. Григорьев П.Я. Техническая эксплуатация зданий: учебное пособие / П.Я. Григорьев, Н.П. Чипига. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2001. – 152 с.
5. Дементьева М.Е. Техническая эксплуатация зданий: оценка и обеспечение эксплуатационных свойств конструкций зданий: учебное пособие / М.Е. Дементьева. – М.: МГСУ, 2008. – 227 с.
6. Комков В.А. Техническая эксплуатация зданий и сооружений: учебник / В.А. Комков, С.И. Рощина, Н.С. Тимакова. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 287 с.
7. Лебедев В.М. Техническая эксплуатация зданий: учебное пособие / В.М. Лебедев. – Белгород: Издательство БГТУ им. В. Г. Шухова, 2010. – 235 с.
8. Андреев А.В. Теоретические основы надежности технических систем: учебное пособие / А.В. Андреев, В.В. Яковлев, Т.Ю. Короткая. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. – 164 с.
9. Шкляр В.Н. Надежность систем управления: учебное пособие / В.Н. Шкляр; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 126 с.
10. Шубин Р.А. Надёжность технических систем и техногенный риск: учебное пособие / Р.А. Шубин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 80 с.
11. Надежность технических систем и техногенный риск: учебно-методическое пособие / сост. А.В. Кулагин, С.В. Ширококов. – Ижевск: Изд. центр «Удмуртский университет», 2020. – 110 с.
12. Олейникова С.А. Математическое моделирование и системы массового обслуживания / С.А. Олейникова. – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 90 с.
13. Плескунов М.А. Теория массового обслуживания: учебное пособие / М.А. Плескунов; М-во науки и высшего образования РФ, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та,

2022. – 264 с.

14. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа: учебное пособие / Н.Н. Моисеев. – М.: URSS, 2023. – 532 с.

## REFERENCES

1. Nikolaev Yu.N. Computer technologies for designing construction production [Electronic resource]: a training manual and a laboratory workshop / Yu.N. Nikolaev; M-in education and science. Federation, Volgogr. state. archit. un-t. – Electronic text and graphic data (6.2 MB). – Volgograd: VolgGASU, 2015. – Educational electronic edition of network distribution.
2. Dobromyslov A.N. Assessment of the reliability of buildings and structures by external characteristics. Reference manual / A.N. Dobromyslov. – M.: Publishing House of the ASV, 2004. – 72 p.
3. Abrashitov V.S. Technical operation and inspection of building structures: a training manual / V.S. Abrashitov. – M.: Publishing House of the Association of Construction Universities, 2005. – 104 p.
4. Grigoriev P.Ya. Technical operation of buildings: a textbook/P.Ya. Grigoriev, N.P. Chipiga. – Khabarovsk: Publishing House DVGUPS, 2001. – 152 p.
5. Dementieva M.E. Technical operation of buildings: assessment and provision of operational properties of building structures: training manual / M.E. Dementieva. – M.: MGSU, 2008. – 227 p.
6. Komkov V.A. Technical operation of buildings and structures: textbook / V.A. Komkov, S.I. Roshchina, N.S. Timakova. – M.: INFRA-M, 2008. – 287 p.
7. Lebedev V.M. Technical operation of buildings: textbook / V.M. Lebedev. – Belgorod: Publishing House BSTU named after V. G. Shukhov, 2010. – 235 p.
8. Andreev A.V. Theoretical foundations of the reliability of technical systems: a textbook / A.V. Andreev, V.V. Yakovlev, T.Yu. Short. – St. Petersburg: Publishing House Polytechnic. University, 2018. – 164 p.
9. Shklyar V.N. Reliability of control systems: training manual / V.N. Shklyar; Tomsk Polytechnic University. – Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2009. – 126 p.
10. Shubin R.A. Reliability of technical systems and man-made risk: a textbook / R.A. Shubin. – Tambov: Publishing House of FSBEI HPE «TSTU», 2012. – 80 p.
11. Reliability of technical systems and man-made risk: training manual / Comp. A.V. Kulagin, S.V. Shirobokov. – Izhevsk: Ed. Center «Udmurt University», 2020. – 110 p.
12. Oleinikova S.A. Mathematical Modeling and Mass Service Systems / S.A. Oleinikova. – FSBEI HE «Voronezh State Technical University». – Voronezh: Publishing House of VSTU, 2021. – 90 p.
13. Pleskunov M.A. Theory of mass service: a textbook / M.A. Pleskunov; Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Ural. feder.

un-t. – Yekaterinburg: Ural Publishing House.  
University, 2022. – 264 p.

system analysis: a textbook / N.N. Moiseev. – M.:  
URSS, 2023. – 532 p.

14. Moiseev N.N. Mathematical problems of

## MASS SERVICE SYSTEM AS A MODEL OF HARDWARE SYSTEM OPERATION STUDY CONSTRUCTION FACILITIES

Chemodurov V.T.<sup>1</sup>, Litvinova E.V.<sup>2</sup>

V.I. Vernadsky Crimean Federal University,  
Institute "Academy of Construction and Architecture"  
181, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea 295050  
<sup>1</sup>Chens\_mu1@mail.ru, <sup>2</sup>EllaLit@mail.ru

**Abstract.** Improving the system of operation of buildings and structures is an urgent need to save material and financial resources, and is an urgent and promising scientific and technical direction. In this regard, there is a need for an in-depth analysis of the impact of the capabilities serving the complex of construction structures, organizations on their general technical condition. This task can be solved if you reduce the entire range of measures to maintain building structures at the proper technical level into a technical support system. The construction facilities maintenance system is a costly organization. One of the ways to optimize the cost of maintaining building structures is to use a mathematical apparatus to study their functioning and develop optimal strategies related to their structure and organization of work. In this case, there is an urgent need to use a well-proven mass service apparatus, which gives significant benefits in saving material costs, especially when servicing buildings of the same type.

**Subject.** Study of a set of measures that serve to maintain and restore the working properties of technical systems: routine maintenance; performance monitoring and diagnostics; repair and restoration work.

**Materials and methods.** The theory of technical support of systems is closely related to the theory of probabilities and mathematical statistics in view of the presence of random processes that occur during the operation of both building structures as a whole and their internal systems and equipment. Using the methods of the theory of mass service in practice, it is possible to formulate research goals for improving the technical support system of building structures.

**Results.** To obtain results of practical value, it is necessary to study the service system well, to know the probabilistic laws of the functioning of its individual parts. In this case, using the Monte Carlo method, it is possible to calculate the probabilistic characteristics of any system, no matter how difficult it is.

**Conclusions.** To obtain results of practical value, it is necessary to study the service system well, to know the probabilistic laws of functioning of its individual parts. The modeling of mass service systems is (should be) widely used in the creation of technical support systems.

**Key words:** technical support system, mass service system, Monte Carlo method, mathematical expectation, requirements flow, Markov random function.