

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МАТЕРИАЛЫ
VII Международной молодежной
научной конференции
«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ,
ТЕХНИЧЕСКИХ
И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ»

Томск, 23–25 мая 2019 г.

Под общей редакцией
кандидата технических наук И.С. Шмырина

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2019

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОБОБЩЁННОГО АСИНХРОННОГО ПОТОКА СОБЫТИЙ ПРИ НЕПРОДЛЕВАЮЩЕМСЯ СЛУЧАЙНОМ МЁРТВОМ ВРЕМЕНИ

Л.А. Нежелская, А.А. Першина

Томский государственный университет

Введение

Распространёнными математическими моделями физических явлений и процессов являются потоки событий. В частности, такие модели применяются при исследовании информационных потоков сообщений, в телекоммуникационных системах, в спутниковых сетях связи т.п. [1,2]. В большинстве публикаций авторы рассматривают математические модели потоков событий, когда события потока доступны наблюдению. Однако на практике возникают ситуации, когда наступившее событие влечет за собой ненаблюдаемость последующих событий. Причиной ненаблюдаемости, как правило, выступает мёртвое время регистрирующих приборов [3], в течение которого зарегистрированное событие обрабатывается; другие же события, наступившие в этот период, теряются.

Регистрирующие приборы при этом делятся на два вида: с непродлевающимся мёртвым временем и продлевающимся [3]. При этом длительность мёртвого времени может быть как детерминированной величиной, так и случайной. Задачи по оценке параметров и состояний потока событий в условиях наличия мёртвого времени фиксированной длительности, в частности, рассматривались в работах [4–15]. При этом в [4–11] получены результаты для непродлевающегося мёртвого времени, в [12–15] – для продлевающегося.

Однако достаточно открытым остается вопрос изучения потоков событий, когда мёртвое время является случайной величиной с тем или иным законом распределения. Здесь отметим работу [16], в которой решается задача оценки параметра распределения непродлевающегося мёртвого времени случайной длительности в пуассоновском потоке событий, и работу [17], в которой находятся формулы для начальных моментов общего периода ненаблюдаемости в пуассоновском потоке событий при наличии продлевающегося случайного мёртвого времени. В настоящей статье рассматривается обобщённый асинхронный поток событий, функционирующий в условиях непродлевающегося случайного мёртвого времени, приводятся результаты статистических экспериментов, реализованных на имитационной модели изучаемого потока.

1. Математическая модель наблюдаемого потока

Рассматривается обобщенный асинхронный дважды стохастический поток событий, сопровождающий процесс которого есть кусочно-постоянный стационарный случайный процесс $\lambda(t)$ с двумя состояниями λ_1 и λ_2 ($\lambda_1 > \lambda_2 \geq 0$). В течение временного интервала, когда $\lambda(t) = \lambda_i$, имеет место пуассоновский поток событий с интенсивностью λ_i , $i = 1, 2$. Переход из первого состояния процесса $\lambda(t)$ во второе (из второго в первое) может осуществляться в произвольный момент времени. При этом длительность пребывания процесса $\lambda(t)$ в i -м состоянии распределена по экспоненциальному закону с параметром α_i , $i = 1, 2$. При переходе процесса $\lambda(t)$ из первого состояния во второе инициируется с вероятностью p ($0 \leq p \leq 1$) дополнительное событие во втором состоянии (т.е. сначала осуществляется переход, а затем инициируется дополнительное событие). Наоборот, при переходе процесса $\lambda(t)$ из второго состояния в первое инициируется с вероятностью q ($0 \leq q \leq 1$) дополнительное событие в первом состоянии. При этом матрицы инфинитезимальных коэффициентов примут вид

$$D_0 = \begin{bmatrix} -(\lambda_1 + \alpha_1) & (1-p)\alpha_1 \\ (1-q)\alpha_2 & -(\lambda_2 + \alpha_2) \end{bmatrix}, \quad D_1 = \begin{bmatrix} \lambda_1 & p\alpha_1 \\ q\alpha_2 & \lambda_2 \end{bmatrix}.$$

Элементами матрицы D_1 являются интенсивности переходов процесса $\lambda(t)$ из состояния в состояние с наступлением события. Недиагональные элементы матрицы D_0 – интенсивности переходов из состояния в состояние без наступления события. Диагональные элементы матрицы D_0 – интенсивности выхода процесса $\lambda(t)$ из своих состояний, взятые с противоположным знаком. В сделанных предположениях $\lambda(t)$ – скрытый марковский процесс ($\lambda(t)$ – принципиально ненаблюдаемый процесс). После каждого зарегистрированного события в момент времени t_k наступает период мёртвого времени случайной длительности, который порождается этим событием, так что другие события исходного потока, наступившие в течение этого периода мёртвого времени (периода ненаблюдаемости), недоступны наблюдению (теряются) и не вызывают его продления (непродлевающееся мёртвое время). Принимается, что случайная длительность мёртвого времени распределена по равномерному закону с плотностью вероятности $p(T) = 1/T^*$, где T – значение длительности мёртвого времени, $0 \leq T \leq T^*$. Вариант возникающей ситуации приведен на рис. 1, где 1,2 – состояния случайного процесса $\lambda(t)$; дополнительные события, которые могут наступать в момент перехода процесса $\lambda(t)$ из состояния в состояние, помечены буквами p либо q ; на первой временной оси белыми кружками обозначены события исходного обобщённого асинхронного потока; на второй временной оси приведена схема создания мёртвого времени, где серым цветом обозначены значения периодов мёртвого времени, порождаемые каждым зарегистрированным событием исходного потока, черными кружками обозначены ненаблюдаемые события; на третьей временной оси приведены моменты $t_1, t_2, \dots$ наступления событий наблюдаемого потока, обозначенные белыми кружками.

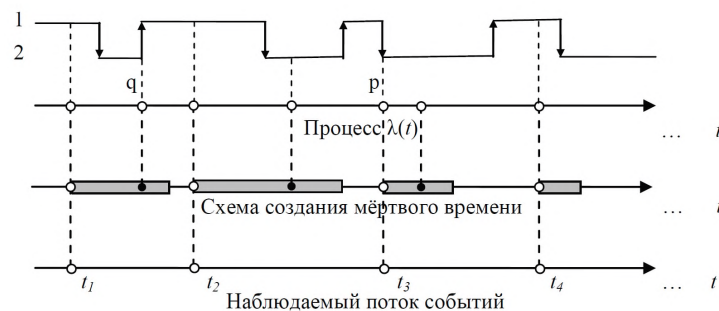


Рис. 1. Обобщённый асинхронный поток событий в условиях непродлевающегося случайного мёртвого времени

Настоящая статья посвящена вопросу построения имитационной модели обобщённого асинхронного потока событий, функционирующего в условиях непродлевающегося случайного мёртвого времени, с целью проведения статистических экспериментов на этой модели для изучения содержательной информации о статистических характеристиках периода ненаблюдаемости.

2. Имитационная модель обобщённого асинхронного потока событий при непродлевающемся случайном мёртвом времени

Метод имитационного моделирования широко применяется на этапе проектирования сложных систем. Основным средством реализации имитационного моделирования служит компьютер, позволяющий осуществлять цифровое моделирование систем и сигналов. При имитационном моделировании используется математическая модель воспроизводит алгоритм функционирования исследуемой системы во времени при различных сочетаниях значений параметров системы. При исследовании процесса мето-

дом имитационного моделирования должно быть реализовано наблюдение за ним с течением времени.

Основные преимущества имитационного моделирования по сравнению с аналитическими методами заключаются в следующем [18]: 1) большая адекватность между сущностью физического явления (объекта) и математической моделью физического явления (объекта); 2) более широкий охват физических процессов и систем по сравнению с аналитическими методами; 3) имитационное моделирование функционирования процессов и систем при разнообразных законах распределения случайных величин как в установившихся, так и в переходных режимах; 4) получение в результате имитационного моделирования самых разнообразных статистических характеристик исследуемых процессов и систем.

Для получения численных результатов разработана программа. Она реализована на языке программирования C# в среде Microsoft Visual Studio 2017. Первый этап расчета предполагает имитационное моделирование исходного потока событий, схемы создания непродлевающегося случайного мёртвого времени и наблюдаемого потока событий. Результатом работы имитационной модели является последовательность значений длительности периодов ненаблюдаемости событий исходного потока $\{T_1, \dots, T_n\}$, где T_n – значение длительности мёртвого времени, порождённое последним наблюдаемым событием на интервале моделирования Tm .

На рис. 2–4 представлена блок-схема алгоритма имитационного моделирования потока событий в условиях непродлевающегося случайного мёртвого времени. Введены следующие обозначения: Tm – время моделирования; $t1$ – момент наступления события в обобщённом асинхронном потоке; $t2$ – момент окончания длительности мёртвого времени; $t3$ – момент наступления события в наблюдаемом потоке; T – значение длительности мёртвого времени; γ – значение случайной величины, равномерно распределенной на отрезке $[0,1]$; τ – интервал времени между соседними событиями обобщенного асинхронного потока событий; x, z – вспомогательные переменные; $State$ – переменная, обозначающая состояние, в котором процесс находится в момент моделирования; $DurationState$ – длительность нахождения процесса в состоянии $State$; $EndState$ – момент окончания нахождения процесса в состоянии $State$; $Discrete(p)$ – функция, которая в зависимости от параметра p принимает случайное значение 0 или 1 (с вероятностью p принимает значение 1, с вероятностью $1-p$ принимает значение 0); $Discrete(q)$ – функция, которая в зависимости от параметра q принимает случайное значение 0 или 1 (с вероятностью q принимает значение 1, с вероятностью $1-q$ принимает значение 0); $n1$ – количество событий в обобщённом асинхронном потоке.

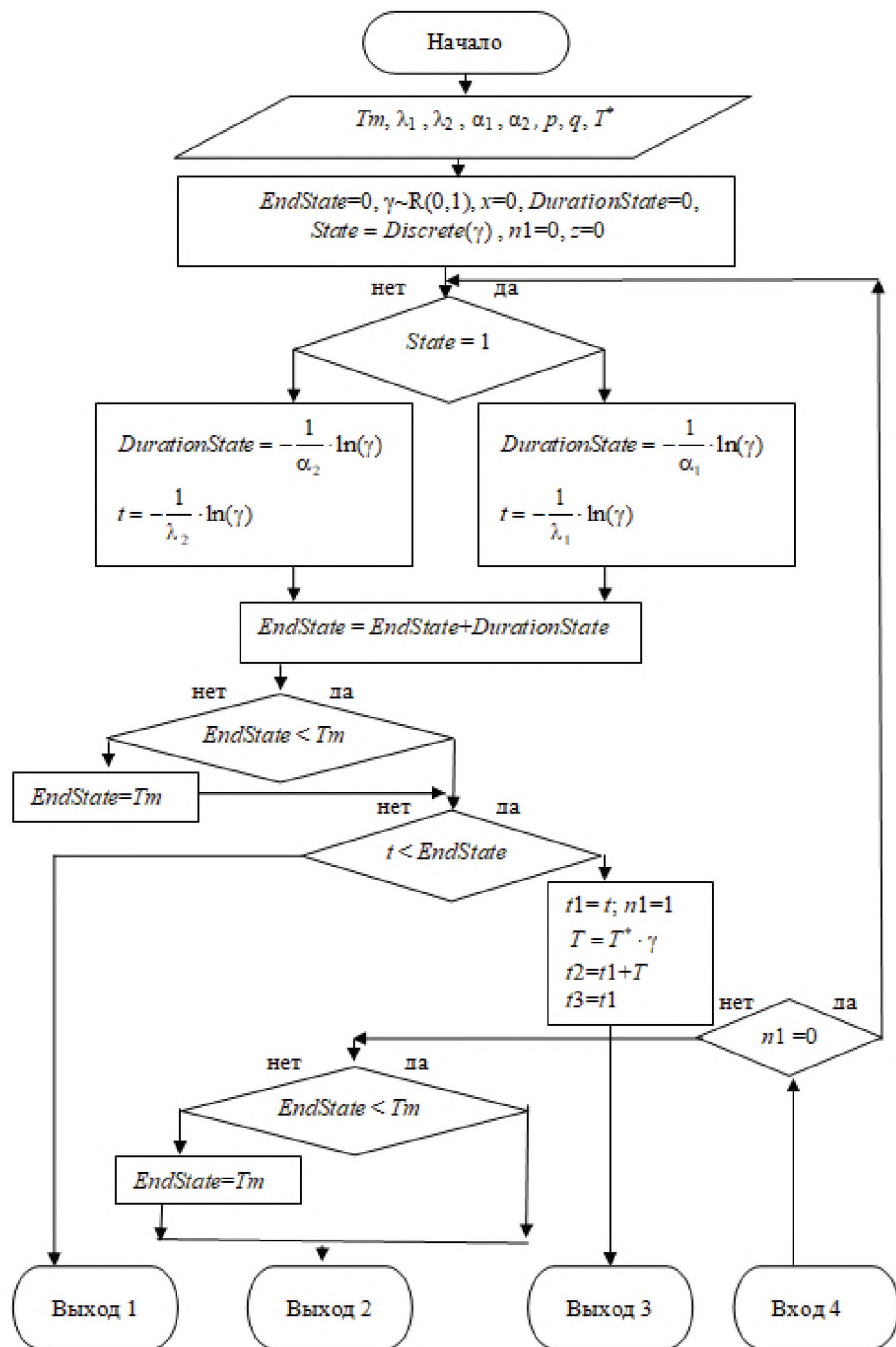


Рис. 2. Блок-схема алгоритма имитационного моделирования обобщённого асинхронного потока событий в условиях непреодолевающего случайного мёртвого времени (часть 1)

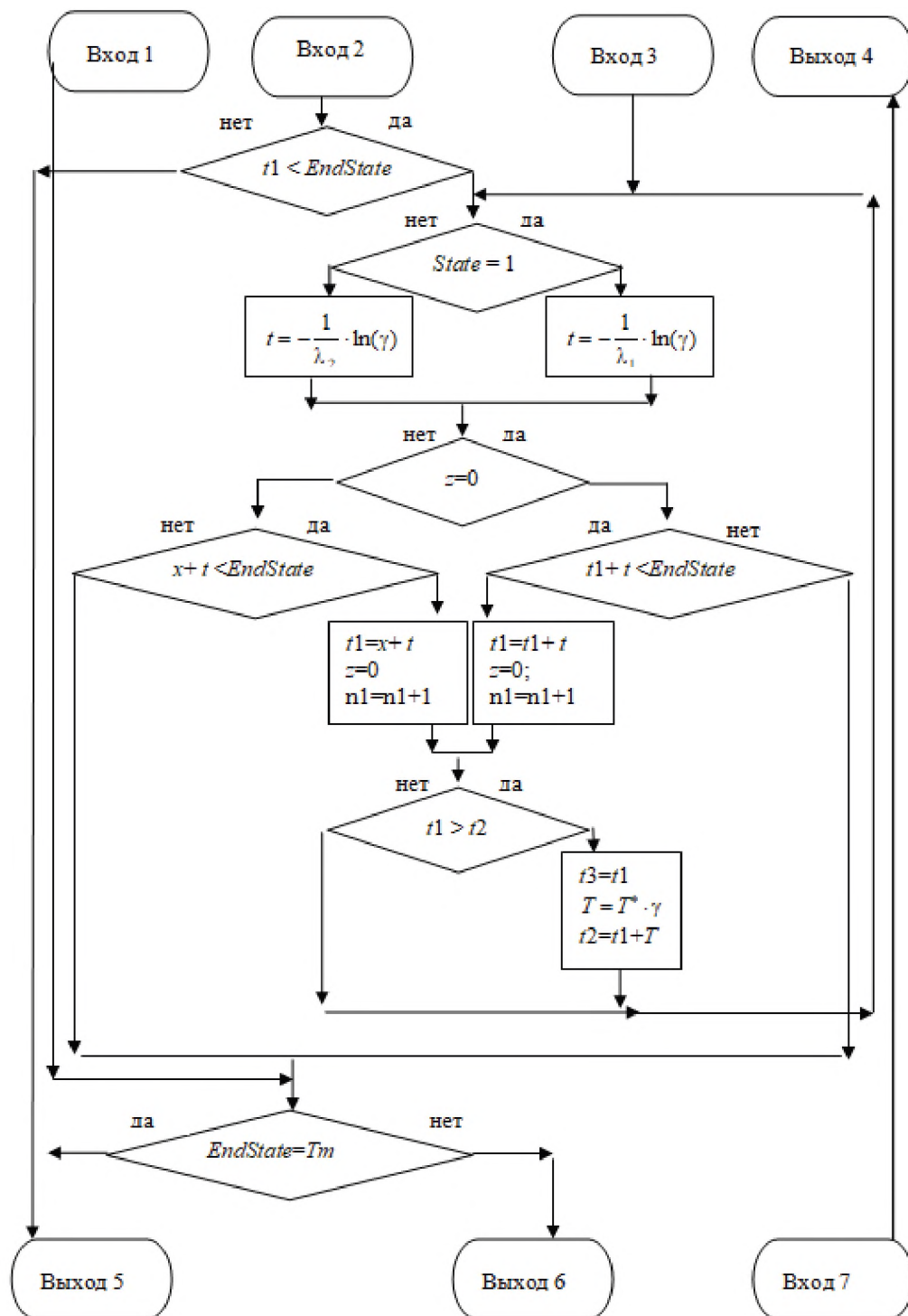


Рис. 3. Блок-схема алгоритма имитационного моделирования обобщённого асинхронного потока событий в условиях непродлевающегося случайного мёртвого времени (часть 2)

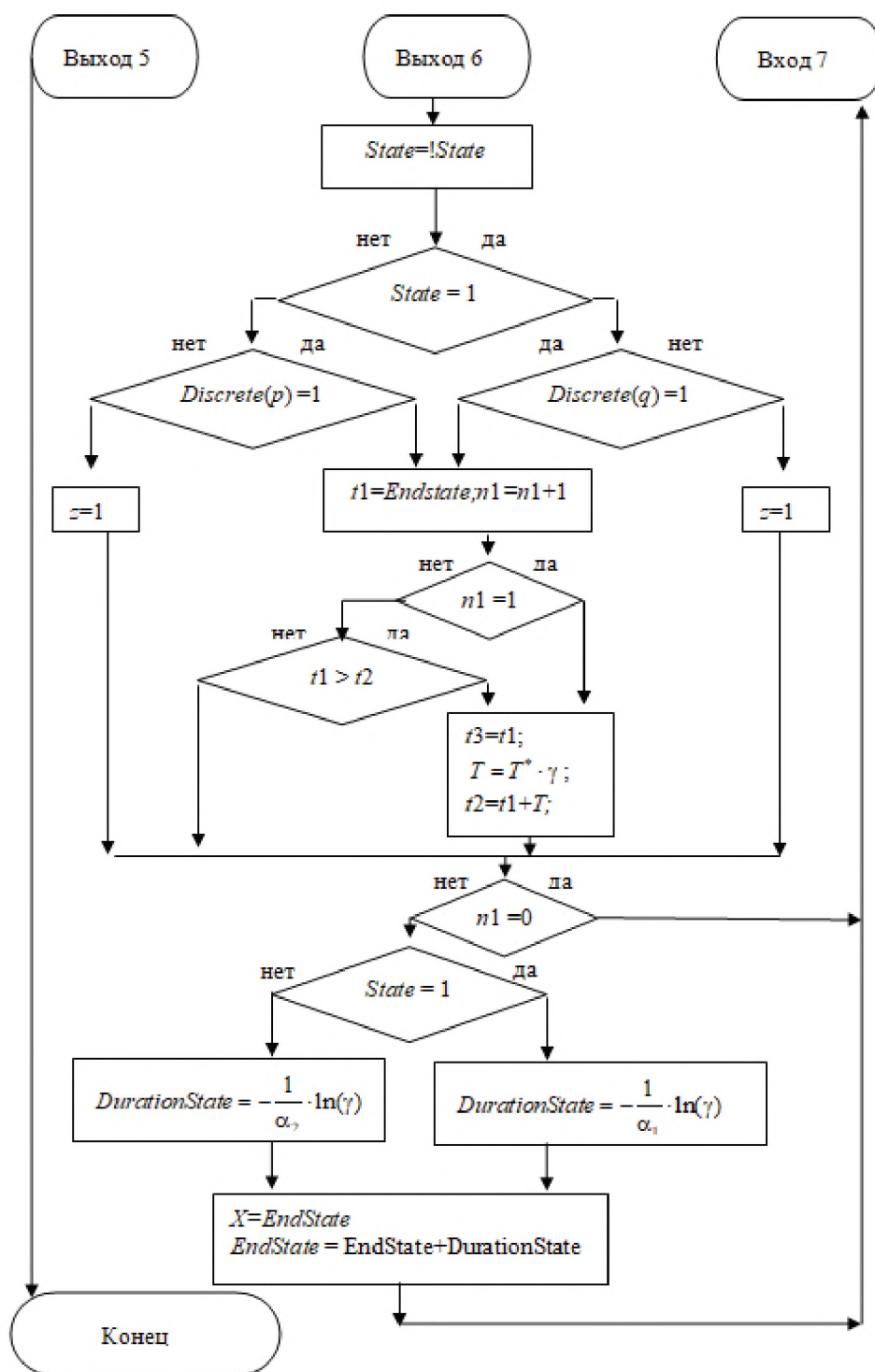


Рис. 4. Блок-схема алгоритма имитационного моделирования обобщённого асинхронного потока событий в условиях непродлевающегося случайного мёртвого времени (часть 3)

3. Статистические эксперименты и численные результаты

С целью получения численных значений периода ненаблюдаемости (мёртвого времени) поставлены статистические эксперименты.

Первый статистический эксперимент: 1) при заданных значениях параметров λ_1 , λ_2 , α_1 , α_2 , p , q , T^* и заданном времени моделирования Tm осуществляется имитационное моделирование наблюдаемого потока; выходом имитационной модели являются последовательность значений T_j , $j = \overline{1, N}$, – значение периода ненаблюдаемости, порождённого наблюдаемым событием исходного потока; значение N зависит от заданных значений λ_1 , λ_2 , α_1 , α_2 , p , q , T^* , Tm и конкретной реализации наблюдаемого потока; 2) в рамках конкретной реализации наблюдаемого потока вычисляются следующие статистические характеристики [19]:

$$\hat{M}(T) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N T_j - \text{оценка математического ожидания периода ненаблюдаемости;}$$

$$\hat{V}(T) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[T_j - \frac{T^*}{2} \right]^2 - \text{оценка вариации периода ненаблюдаемости от истинного}$$

значения математического ожидания периода ненаблюдаемости (T^* – известный параметр имитационной модели).

3) после чего время моделирования Tm увеличивается и шаги 1), 2) повторяются.

В табл. 1–6 приведены результаты первого статистического эксперимента.

Таблица 1

Первый статистический эксперимент при $\lambda_1 = 3$, $\lambda_2 = 2$, $\alpha_1 = 0.5$, $\alpha_2 = 0.5$, $p = 0.5$, $q = 0.5$, $T^* = 1$

Tm	10	20	30	40	50
$\hat{M}(T)$	0,568154	0,465002	0,449866	0,505249	0,489746
$\hat{V}(T)$	0,046367	0,108388	0,091552	0,053454	0,102945

Таблица 2

Первый статистический эксперимент при $\lambda_1 = 3$, $\lambda_2 = 2$, $\alpha_1 = 0.5$, $\alpha_2 = 0.5$, $p = 0.5$, $q = 0.5$, $T^* = 1$

Tm	60	70	80	90	100
$\hat{M}(T)$	0,457656	0,475564	0,485832	0,534109	0,487774
$\hat{V}(T)$	0,083847	0,083804	0,080197	0,086793	0,090204

Таблица 3

Первый статистический эксперимент при $\lambda_1 = 3$, $\lambda_2 = 2$, $\alpha_1 = 0.5$, $\alpha_2 = 0.5$, $p = 0.5$, $q = 0.5$, $T^* = 1$

Tm	200	300	400	500	600
$\hat{M}(T)$	0,48061	0,477752	0,500716	0,504716	0,491727
$\hat{V}(T)$	0,091396	0,085622	0,082044	0,080272	0,085313

Таблица 4

Первый статистический эксперимент при $\lambda_1 = 3$, $\lambda_2 = 2$, $\alpha_1 = 0.5$, $\alpha_2 = 0.5$, $p = 0.5$, $q = 0.5$, $T^* = 1$

Tm	700	800	900	1 000	2 000
$\hat{M}(T)$	0,496649	0,483596	0,510026	0,496606	0,498506
$\hat{V}(T)$	0,081164	0,082235	0,08134	0,085757	0,083887

Таблица 5

Первый статистический эксперимент при $\lambda_1 = 3$, $\lambda_2 = 2$, $\alpha_1 = 0.5$, $\alpha_2 = 0.5$, $p = 0.5$, $q = 0.5$, $T^* = 1$

Tm	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000
$\hat{M}(T)$	0,505192	0,501617	0,499068	0,49942	0,497584
$\hat{V}(T)$	0,082071	0,082135	0,083589	0,082173	0,083411

Таблица 6

Первый статистический эксперимент при $\lambda_1 = 3, \lambda_2 = 2, \alpha_1 = 0.5, \alpha_2 = 0.5, p = 0.5, q = 0.5, T^* = 1$

Tm	8 000	9 000	10 000
$\hat{M}(T)$	0,498456	0,502564	0,503289
$\hat{V}(T)$	0,083767	0,084204	0,083922

Из анализа табл. 1–6 следует, что для оценки математического ожидания $\hat{M}(T)$ стационарный режим устанавливается ($\hat{M}(T)$ стремится к $T^*/2 = 0.5$ с увеличением Tm) для $Tm > 1000$.

Второй статистический эксперимент: 1) при заданных значениях параметров $\lambda_1, \lambda_2, \alpha_1, \alpha_2, p, q, T^*$ и заданном времени моделирования Tm осуществляется имитационное моделирование наблюдаемого потока: выходом имитационной модели является последовательность значений $\tau_j, j = \overline{1, N}$, – значение интервала времени τ между соседними событиями наблюдаемого потока; значение N зависит от заданных значений $\lambda_1, \lambda_2, \alpha_1, \alpha_2, p, q, T^*, Tm$ и конкретной реализации наблюдаемого потока; 2) в рамках конкретной реализации наблюдаемого потока вычисляются следующие статистические характеристики [19]:

$$\hat{M}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \tau_j \quad - \text{оценка математического ожидания длительности интервала времени между соседними событиями наблюдаемого потока;}$$

$$\hat{D}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [\tau_j - \hat{M}(\tau)]^2 \quad - \text{оценка дисперсии длительности интервала времени}$$

между соседними событиями наблюдаемого потока от выборочного математического ожидания $\hat{M}(\tau)$;

3) после чего время моделирования Tm увеличивается и шаги 1), 2) повторяются.

В табл. 6–12 приведены результаты второго статистического эксперимента.

Таблица 7

Второй статистический эксперимент при $\lambda_1 = 3, \lambda_2 = 2, \alpha_1 = 0.5, \alpha_2 = 0.5, p = 0.5, q = 0.5, T^* = 1$

Tm	10	20	30	40	50
$\hat{M}(\tau)$	1,012281	0,826491	0,820386	0,987154	0,885746
$\hat{D}(\tau)$	0,20338	0,165954	0,22842	0,154153	0,289973

Таблица 8

Второй статистический эксперимент при $\lambda_1 = 3, \lambda_2 = 2, \alpha_1 = 0.5, \alpha_2 = 0.5, p = 0.5, q = 0.5, T^* = 1$

Tm	60	70	80	90	100
$\hat{M}(\tau)$	0,849386	0,783556	0,828049	0,984978	0,92225
$\hat{D}(\tau)$	0,206693	0,188462	0,203336	0,297066	0,264798

Таблица 9

Второй статистический эксперимент при $\lambda_1 = 3, \lambda_2 = 2, \alpha_1 = 0.5, \alpha_2 = 0.5, p = 0.5, q = 0.5, T^* = 1$

Tm	200	300	400	500	600
$\hat{M}(\tau)$	0,860066	0,843498	0,872284	0,846505	0,864165
$\hat{D}(\tau)$	0,202118	0,210976	0,208881	0,193503	0,240862

Таблица 10

Второй статистический эксперимент при $\lambda_1 = 3, \lambda_2 = 2, a_1 = 0.5, a_2 = 0.5, p = 0.5, q = 0.5, T^* = 1$

Tm	700	800	900	1 000	2 000
$\hat{M}(\tau)$	0,854676	0,859214	0,901616	0,862568	0,866418
$\hat{D}(\tau)$	0,213439	0,234852	0,244523	0,227471	0,227866

Таблица 11

Второй статистический эксперимент при $\lambda_1 = 3, \lambda_2 = 2, a_1 = 0.5, a_2 = 0.5, p = 0.5, q = 0.5, T^* = 1$

Tm	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000
$\hat{M}(\tau)$	0,878448	0,864936	0,868479	0,867951	0,872117
$\hat{D}(\tau)$	0,229027	0,222929	0,228942	0,228718	0,236436

Таблица 12

Второй статистический эксперимент при $\lambda_1 = 3, \lambda_2 = 2, a_1 = 0.5, a_2 = 0.5, p = 0.5, q = 0.5, T^* = 1$

Tm	8 000	9 000	10 000
$\hat{M}(\tau)$	0,860144	0,874084	0,873261
$\hat{D}(\tau)$	0,2205	0,231285	0,225704

Анализируя численные результаты, представленные в табл. 7–12, можно сделать следующий вывод: стационарный режим для $\hat{M}(\tau)$ устанавливается ($\hat{M}(\tau)$ стремится к константе с увеличением Tm) для $Tm > 1000$.

Заключение

В настоящей статье разработана имитационная модель обобщённого асинхронного потока событий, функционирующего в условиях непродлевающегося случайного мёртвого времени, которая является инструментом для задач оценивания параметров исходного потока и параметра T^* равномерного распределения длительности мёртвого времени. Проведённые статистические эксперименты, а также другие многочисленные испытания имитационной модели подтверждают её работоспособность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Basharin G.P., Gaidamaka Y.V., Samouylov K.E. Mathematical theory of teletraffic and its application to the analysis of multiservice communication of next generation networks // Automatic Control and Computer Sciences. – 2013. – 47(2). – Р. 62–69.
2. Дудин А.Н., Клименок В.Н. Системы массового обслуживания с коррелированными потоками. – Минск: Изд-во БГУ, 2000. – 175 с.
3. Апанасович В.В., Коляда А.А., Чернявский А.Ф. Статистический анализ случайных потоков в физическом эксперименте. – Минск: Университетское, 1988. – 256 с.
4. Горцев А.М., Нежелская Л.А. Оценивание длительности мёртвого времени и параметров синхронного альтернирующего потока событий // Вестник Томского государственного университета. – 2003. – № 86. – С. 232–239.
5. Горцев А.М., Ниссенбаум О.В. Оценивание длительности мёртвого времени и параметров асинхронного альтернирующего потока событий с инициированием лишнего события // Вестник Томского государственного университета. – 2004. – № 284. – С. 137–145.
6. Василевская Т.П., Горцев А.М., Нежелская Л.А. Оценивание длительности мёртвого времени и параметров синхронного альтернирующего потока с проявлением либо не проявлением событий // Вестник Томского государственного университета. – 2004. – № 9-2. – С. 129–138.
7. Горцев А.М., Ниссенбаум О.В. Оценивание длительности мёртвого времени и параметров асинхронного альтернирующего потока событий при непродлеваемом мёртвом времени // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2005. – № 10. – С. 35–49.
8. Горцев А.М., Леонова М.А., Нежелская Л.А. Сравнение МП- и ММ-оценок длительности мёртвого времени в обобщённом асинхронном потоке событий // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2013. – № 4 (25). – С. 32–42.
9. Горцев А.М., Леонова М.А., Нежелская Л.А. Совместная плотность вероятностей длительности интервалов обобщённого асинхронного потока событий при непродлеваемом мёртвом времени // Вестник Томского

государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2012. – № 4 (21). – С. 14–25.

10. Горцев А.М., Соловьёв А.А. Совместная плотность вероятностей длительности интервалов потока физических событий при непродлеваемом мёртвом времени // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2014. – Т. 57. – № 7. – С. 103–111.

11. Горцев А.М., Калягин А.А., Нежелская Л.А. Оценка максимального правдоподобия длительности мёртвого времени в обобщённом полусинхронном потоке // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2015. – № 1. – С. 27–37.

12. Горцев А.М., Климов И.С. Оценивание периода ненаблюдаемости и интенсивности пуассоновского потока событий // Радиотехника. – 1996. – № 2. – С. 8–11.

13. Горцев А.М., Паршина М.Е. Оценивание параметров альтернирующего потока событий в условиях «мёртвого времени» // Известия высших учебных заведений. Физика. – 1999. – № 4. – С. 8–13.

14. Горцев А.М., Нежелская Л.А. Полусинхронный дважды стохастический поток событий при продлеваемом мёртвом времени // Вычислительные технологии. – 2008. – Т. 13. – № 1. – С. 31–41.

15. Бушланов И.В., Горцев А.М., Нежелская Л.А. Оценка параметров синхронного дважды стохастического потока событий // Автоматика и телемеханика. – 2008. – № 9. – С. 76–93.

16. Горцев А.М., Завгородняя М.Е. Оценивание параметра продлеваемого мёртвого времени случайной длительности в пуассоновском потоке событий // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика – 2017. – № 40. – С. 32–40.

17. Глухова Е.В., Терпугов А.Ф. Оценка интенсивности пуассоновского потока событий при наличии продлеваемого мёртвого времени // Известия высших учебных заведений. Физика. – 1995. – Т. 38. – № 3. – С. 22–31.

18. Лифшиц А.Л., Мальц Э.А. Статистическое моделирование систем массового обслуживания. – М.: Сов. Радио, 1978. – 248 с.

19. Шуленин В.П. Математическая статистика. Ч.1. Параметрическая статистика. – Томск: Изд-во НТЛ, 2012. – 540 с.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРЕМЕНТЫ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ПОТОКА СОБЫТИЙ ПРИ НЕПРОДЛЕВАЮЩЕМСЯ СЛУЧАЙНОМ МЕРТВОМ ВРЕМЕНИ

А.М. Горцев, А.В. Шманкеева

Томский государственный университет

Введение

Распространёнными математическими моделями физических явлений и процессов являются потоки событий. В частности, такие модели применяются при исследовании информационных потоков сообщений в телекоммуникационных системах, в спутниковых сетях связи и т.п. [1]. В связи с интенсивным развитием компьютерных сетей модель простейшего потока событий перестала быть адекватной реальным информационным потокам. Требования практики послужили стимулом к рассмотрению дважды стохастических потоков [2,3] в качестве математической модели реальных потоков событий в компьютерных сетях. В большинстве публикаций авторы рассматривают математические модели потоков событий, когда события потока доступны наблюдению. Однако на практике возникают ситуации, когда наступившее событие влечёт за собой ненаблюдаемость последующих событий. Причиной ненаблюдаемости, как правило, выступает мертвое время регистрирующих приборов [4], в течение которого зарегистрированное событие обрабатывается, другие же события, поступившие в этот период, теряются. Регистрирующие приборы при этом делятся на два вида: с непродлеваемым мертвым временем и продлеваемым. При этом длительность мертвого времени может быть, как детерминированной величиной, так и случайной. Задачи по оценке параметров и состояний потока событий в условиях мёртвого времени фиксированной длительности рассматривались в работах [5–12]. При этом в [5–10] получены результаты для непродлеваемого мёртвого времени, в [11,12] – для продлеваемого.

Однако достаточно открытым остается вопрос изучения потоков событий, когда мертвое время является случайной величиной с тем или иным законом распределения. Здесь отметим работу [13], в которой решается задача оценки параметра распределения непродлеваемого случайного мёртвого времени в пуассоновском потоке и работу [14], в которой находятся формулы для начальных моментов общего периода нена-