

УДК 339.5

**МАРКОВСКИЕ МОДЕЛИ ВЕКТОРНЫХ СЛУЧАЙНЫХ  
ПРОЦЕССОВ, ОПИСЫВАЮЩИХ ПАРАМЕТРЫ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТАМОЖЕННО-  
ЛОГИСТИЧЕСКИХ ТЕРМИНАЛОВ**

**Глушанков Евгений Иванович**

д.т.н., профессор, Действительный член Международной  
Академии информатизации  
заведующий кафедрой таможенного дела и  
внешнеэкономической деятельности, генеральный директор  
Таможенно-логистического терминала «Скандинавия»  
Выборгский филиал Российской академии народного хозяйства  
и государственной службы при Президенте РФ  
(Россия, Выборг)

**Тунгусков Никита Венедиктович**

студент  
Выборгский филиал Российской академии народного хозяйства  
и государственной службы при Президенте РФ  
(Россия, Выборг)

В статье предложены марковские модели, описывающие параметры функционирования таможенно-логистических терминалов на основе стохастических дифференциальных уравнений, и проведен анализ точности предложенных моделей

**Ключевые слова:** таможенно-логистический терминал, стохастическое дифференциальное уравнение, математические модели, векторный случайный процесс, центр электронного декларирования, коэффициент замедления

## **MARKOV MODELS OF VECTOR RANDOM PROCESSES, DESCRIBING PARAMETERS OF FUNCTIONING OF CUSTOMS LOGISTICS TERMINALS**

**Glushankov Evgeny Ivanovich**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of the  
International Academy of Informatization

Head of the Department of Customs and Foreign Economic Affairs,  
General Director of the Scandinavia Customs and Logistics Terminal  
Vyborg branch of the Russian Presidential Academy of National  
Economy and Public Administration  
(Russia, Vyborg)

**Tunguskov Nikita Venediktovich**

student

Vyborg branch of the Russian Presidential Academy of National  
Economy and Public Administration  
(Russia, Vyborg)

The article proposes Markov models describing the functioning parameters of customs and logistics terminals based on stochastic differential equations, and analyzes the accuracy of the proposed models

**Keywords:** customs and logistics terminal, stochastic differential equation, mathematical models, vector random process, electronic declaration center, deceleration coefficient

В рамках реализации Концепции таможенного оформления и контроля товаров в местах, приближенных к Государственной границе РФ [1], начиная с 2009 г., в различных приграничных регионах РФ были построены таможенно-логистические терминалы (ТЛТ), многие из которых представляют собой современные складские комплексы, на большинстве из ТЛТ были размещены таможенные органы и выполнялись операции по таможенному оформлению и таможенному контролю товаров и транспортных средств (ТС). В настоящее время Федеральная таможенная служба (ФТС) реализует Программу реформирования системы таможенных

органов на период до 2020 г. [2], согласно которой таможенное оформление к концу 2020 г. будет сосредоточено в 16 центрах электронного декларирования (ЦЭД), а все приграничные таможни становятся таможнями фактического контроля. При этом на всех приграничных ТЛТ будут осуществляться только таможенные операции, связанные с фактическим контролем.

Для оценки эффективности функционирования ТЛТ при изменении их функциональности при реализации Программы реформирования системы таможенных органов [2] необходимо создание адекватных реальным процессам математических моделей параметров функционирования ТЛТ. Разработка таких математических моделей необходима по двум основным причинам:

1. На основе математических моделей возможна разработка имитационных моделей и проведение анализа функционирования ТЛТ при изменении различных параметров и условий.

2. На основе математических моделей возможна разработка алгоритмов экстраполяции, позволяющих прогнозировать изменение параметров функционирования ТЛТ во времени.

Возможны различные подходы к моделированию параметров ТЛТ. Наиболее общим методом можно считать представление параметров функционирования ТЛТ в виде случайных процессов. Это объясняется двумя основными обстоятельствами:

1. Изменение параметров ТЛТ происходит под действием системы управления рисками (СУР), используемой таможенными органами для выбора объектов таможенного контроля и мер по минимизации рисков [3]. При этом параметры функционирования СУР, во-первых, неизвестны для участников внешнеэкономической деятельности (ВЭД) и являются для них случайными [4], а, во-вторых, их применение происходит с использованием генератора случайных чисел, что еще в большей степени увеличивает неопределенность

параметров функционирования ТЛТ при таможенном оформлении товаров и ТС в условиях применения таможенными органами СУР для целей таможенного контроля.

2. Случайными для получателя груза могут являться изменения параметров принимаемых товарных партий при преднамеренных и непреднамеренных ошибках отправителей, которые в конечном счете приводят к выявленным таможенными органом нарушениям и, как следствие, к последствиям, связанными с изменением параметров ТЛТ, и даже к административным или уголовным правонарушениям.

Существуют различные способы моделирования и представления случайных процессов. Одним из наиболее универсальных способов моделирования случайных процессов является представление их в виде стохастических дифференциальных уравнений (СДУ). Общая теория представления случайных процессов в виде СДУ и решения СДУ представлены в [5, 6].

Пусть  $\mathbf{X}(t)$  – векторный  $N$  – мерный случайный процесс, описывающий количество транспортных средств (ТС) в различных режимах таможенного оформления и таможенного контроля на ТЛТ, который будем называть вектор параметров ТЛТ,  $x_i(t)$ - количество ТС в  $i$ - м режиме. Под режимами таможенного оформления и таможенного контроля на ТЛТ понимаются различные режимы прохождения товаров и ТС клиентов через терминал. Различные режимы представлены в табл.1.

Таблица 1  
Режимы таможенного оформления и таможенного контроля на ТЛТ

Номер режима	Наименование режима	Условное обозначение
1	2	3
1	Авторегистрация (АР)-автовывпуск (АВ)	$x_1(t)$
2	АР-ручной выпуск	$x_2(t)$
3	АР-запрос сведений-ручной выпуск	$x_3(t)$
4	АР-запрос-досмотр (10%)-ручной выпуск	$x_4(t)$
5	АР-запрос-досмотр (50%)-ручной выпуск	$x_5(t)$
6	АР-запрос-досмотр (100%)-ручной выпуск	$x_6(t)$

Продол. табл. 1

1	2	3
7	АР-запрос-досмотр (10%)-внесение изменений-ручной выпуск	$X_{7(t)}$
8	АР-запрос-досмотр (50%)-внесение изменений-ручной выпуск	$X_{8(t)}$
9	АР-запрос-досмотр (100%)-внесение изменений-ручной выпуск	$X_{9(t)}$
10	АР-запрос-досмотр (10%)-заведение дела об АП-частичный выпуск-перемещение задержанного товара на ответственное хранение	$X_{10(t)}$
11	АР-запрос-досмотр (50%)-заведение дела об АП-частичный выпуск-перемещение задержанного товара на ответственное хранение	$X_{11(t)}$
12	АР-запрос-досмотр (100%)-заведение дела об АП-частичный выпуск-перемещение задержанного товара на ответственное хранение	$X_{12(t)}$
13	АР-запрос-досмотр (10%)-заведение дела об АП-отказ в выпуске-перемещение задержанного товара на ответственное хранение	$X_{13(t)}$
14	АР-запрос-досмотр (50%)-заведение дела об АП-частичный выпуск-перемещение задержанного товара на ответственное хранение	$X_{14(t)}$
15	АР-запрос-досмотр (100%)-заведение дела об АП-частичный выпуск-перемещение задержанного товара на ответственное хранение	$X_{15(t)}$
16	Ручная регистрация-ручной выпуск	$X_{16(t)}$
17	Ручная регистрация -запрос сведений-ручной выпуск	$X_{17(t)}$
18	Ручная регистрация - запрос-досмотр (10%)-ручной выпуск	$X_{18(t)}$
19	Ручная регистрация - запрос-досмотр (50%)-ручной выпуск	$X_{19(t)}$
20	Ручная регистрация - запрос-досмотр (100%)-ручной выпуск	$X_{20(t)}$
21	Ручная регистрация - запрос-досмотр (10%)-внесение изменений-ручной выпуск	$X_{21(t)}$
22	Ручная регистрация - запрос-досмотр (50%)-внесение изменений-ручной выпуск	$X_{22(t)}$
23	Ручная регистрация - запрос-досмотр (100%)-внесение изменений-ручной выпуск	$X_{23(t)}$
24	Ручная регистрация - запрос-досмотр (10%)-заведение дела об АП-частичный выпуск-перемещение задержанного товара на ответственное хранение	$X_{24(t)}$
25	Ручная регистрация - запрос-досмотр (50%)-заведение дела об АП-частичный выпуск-перемещение задержанного товара на ответственное хранение	$X_{25(t)}$
26	Ручная регистрация - запрос-досмотр (100%)-заведение дела об АП-частичный выпуск-перемещение задержанного товара на ответственное хранение	$X_{26(t)}$

Окончание табл. 1

1	2	3
27	Ручная регистрация - запрос-досмотр (10%)-заведение дела об АП-отказ в выпуске-перемещение задержанного товара на ответственное хранение	$X_{27}(t)$
28	Ручная регистрация - запрос-досмотр (50%)-заведение дела об АП-частичный выпуск-перемещение задержанного товара на ответственное хранение	$X_{28}(t)$
29	Ручная регистрация - запрос-досмотр (100%)-заведение дела об АП-частичный выпуск-перемещение задержанного товара на ответственное хранение	$X_{29}(t)$

где АР – авторегистрация таможенных деклараций таможенным органом при таможенном оформлении, АВ – автовыпуск таможенных деклараций таможенным органом.

Аналогично режимам, представленным в табл. 1, можно также задать подобные режимы для различных способов оформления сборных грузов (несколько деклараций на одно ТС), оформление с выгрузкой всей или части товарной партии на склад, с принятием и без принятия товаров и ТС на временное хранение на ТЛТ и др. В зависимости от объекта моделирования размерность векторного процесса  $X(t)$  изменяется от 15 до 98 (число N).

Представим изменения векторного случайного процесса во времени в виде СДУ:

$$\frac{dX(t)}{dt} = F[X(t),t] + G[X(t),t]W(t), \quad (1)$$

где  $F[X(t),t] = (f_1[X(t),t], f_2[X(t),t], \dots, f_N[X(t),t])$  –  $N$  – мерный векторный, а  $G[X(t),t] = (N \times N)$  – мерный матричный коэффициенты СДУ, соответственно,  $W(t)$  – векторный нормальный случайный процесс с нулевым средним (генерирующий случайный процесс).

Задача моделирования случайных процессов в форме СДУ как раз и состоит в определении неизвестных значений коэффициентов СДУ в зависимости от вероятностных характеристик моделируемого процесса. В работах [7, 8] были предложены аналитические методы определения

коэффициентов СДУ при решении задач моделирование параметров сигналов и помех в системах радиосвязи. Воспользуемся данным методом для определения коэффициентов СДУ для моделирования параметров функционирования ТЛТ.

Пусть изменение параметров векторного процесса  $\mathbf{X}(t)$  (переход количества ТС из  $x_i(t)$  в  $x_j(t)$ ) осуществляется с вероятностью  $P_{ij}(t)$  при воздействии случайного процесса  $W_i(t)$  при ограничении

$$\sum_{j=1}^N P_{ij}(t) = 1,$$

характеризующего влияние случайных факторов, связанных с применением СУР и неопределенностей в отношении товарных партий. Тогда неизвестные коэффициенты СДУ (1) можно представить следующим образом:

$$\mathbf{F}[\mathbf{X}(t), t] = \mathbf{P}(t)\mathbf{X}(t), \quad (2)$$

где

$\mathbf{P}(t)$  -  $(N \times N)$  – мерная матрица с элементами  $P_{ij}(t)$ , а

$$\mathbf{G}[\mathbf{X}(t), t] = \text{diag}\{g_{ii}[x_i(t), t]\}, \quad (3)$$

где  $g_{ii}[x_i(t), t]$  – элементы диагональной матрицы весовых коэффициентов влияния случайных факторов при воздействии процесса  $W_i(t)$ .

Таким образом, согласно (2), (3), определение коэффициентов СДУ (1) сводится к нахождению значений элементов переходной матрицы  $\mathbf{P}(t)$  и элементов диагональной матрицы  $\mathbf{G}[\mathbf{X}(t), t]$ .

Элементы  $P_{ij}(t)$  определяются путем анализа состояний переходов по имеющейся статистике на примере ТЛТ «Скандинавия», расположенного в Выборгском районе Ленинградской области. На рис. 1 представлены данные по количеству ТС, прошедших таможенное оформление на ТЛТ в 2019 г. (кривая 1) и количеству таможенных досмотров (кривая 2).

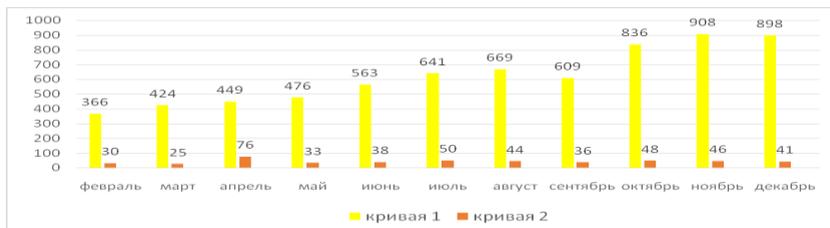


Рис. 1. Количество ТС оформленных на ТЛТ и количество досмотров ТС

Элементы  $G_{ii}[x_i(t), t]$  определяются, исходя из статистики результатов таможенного контроля (запрос документов и (или) проведение таможенного досмотра).

Для оценки качества моделирования и представления моделей векторных случайных процессов, описывающих параметры функционирования ТЛТ было сделано следующее:

1. Анализ статистических данных за первые 6 месяцев функционирования ТЛТ, определение коэффициентов СДУ (2) и (3) и моделирование параметров ТЛТ согласно СДУ (1) и построение графиков на основе данной модели в сравнении с реальными параметрами.

2. Аналогично делается для 7, 8 и так далее до 12 месяцев.

На рис. 2 представлены значения погрешности вычислений параметров при моделировании в зависимости от объема используемых статистических данных. Естественно, что при увеличении объема повышается точность представления параметров ТЛТ в виде марковских моделей, но даже при 6-месячной выборке она является достаточно высокой и погрешность не превосходит 10%.

На основе полученных марковских моделей возможно проводить сравнение различных вариантов таможенного оформления и таможенного контроля на ТЛТ. Так сравним два варианта таможенного оформления на ТЛТ:

1. Вариант, когда таможенный орган, осуществляющий таможенное оформление, размещается на ТЛТ, как это

происходит в настоящее время в приграничных ТЛТ Северо-Западного региона РФ.

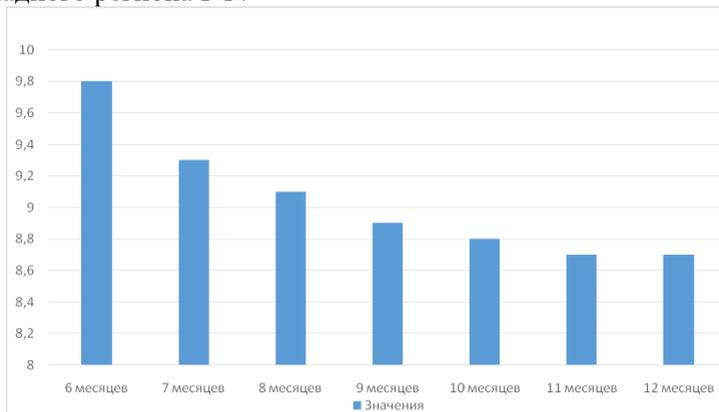


Рис. 2. Погрешности моделирования в процентах

2. Вариант, когда таможенное оформление происходит в ЦЭД. Будем осуществлять моделирование в виде СДУ:

$$\frac{dX^1(t)}{dt} = F^1[X^1(t), t] + G^1[X^1(t), t]W^1(t), \quad (4)$$

$$\frac{dX^2(t)}{dt} = F^2[X^2(t), t] + G^2[X^2(t), t]W^2(t), \quad (5)$$

где верхние индексы 1, 2 соответствуют рассматриваемым вариантам.

В качестве критерия при сравнении двух вариантов будем использовать коэффициент замедления потока на объекте таможенной инфраструктуры, под которым будем понимать ТЛТ [4]:

$$T_{3\Pi i}^m = \frac{t_i^m + \Delta t_i^m}{t_i^m}, \quad (6)$$

где  $t_i^m$  - время начала оказания  $i$ -й услуги на ТЛТ ( $i=1,2,\dots,N$ ) для  $m$ -го варианта таможенного оформления ( $m=1,2$ ),  $\Delta t_i^m$  - время осуществления  $i$ -й услуги для  $m$ -го варианта.

Общий коэффициент замедления для каждого из вариантов будем рассматривать как средневзвешенную величину (6) в виде

$$T_{\text{ЗПобщ}}^m(t) = \sum_{i=1}^N \frac{T_{\text{ЭП}i}^m}{N} x_i^m(t) \quad (7)$$

Значения  $T_{\text{ЗПобщ}}^m(t)$  для таможенных операций, выполняемых на ТЛТ «Скандинавия» в 2019 г. представлены на рис. 3.

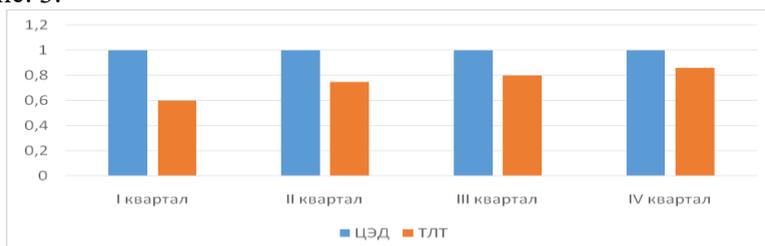


Рис. 3. Значения коэффициента замедления

Из полученных данных можно сделать вывод, что таможенное оформление непосредственно в таможенном органе, расположенном на ТЛТ, более эффективно по критерию минимизации коэффициента замедления потока на объекте таможенной инфраструктуры, по сравнению с оформлением в ЦЭД. Это объясняется в том числе несовершенством структуры и кадрового состава ЦЭД. Возможно, что в дальнейшем при завершении формирования ЦЭД это отличие сделается менее ощутимым и влияющим на скорость таможенного оформления. Подобная ситуация объясняет и увеличение объемов таможенного оформления на приграничных ТЛТ (рис. 1), когда внутренние таможенные органы стали таможенными органами

фактического контроля, а многие клиенты предпочли оформление в приграничных районах.

*Список литературы*

1. Концепция таможенного оформления и таможенного контроля товаров в местах, приближенных к Государственной границе. – Сайт ФТС. URL: <http://customs.ru/activity/programmy-razvitiya/concept>.
2. О решении коллегии ФТС России от 25 мая 2017 года «О Комплексной программе развития ФТС России на период до 2020 года», утверждена приказом ФТС России от 27.06.2017 № 1065. URL:<https://base.garant.ru/72040126/>.
3. Таможенный кодекс ЕАЭС. Статья 378. – М.: Эксмо – пресс, 2019.
4. Аллахвердиев Н.Р.О. Развитие таможенных услуг в условиях трансформации внешнеторговых отношений России и Турции. – Диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук. – Научный руководитель: д.т.н., доцент Афонин П.Н. – Люберцы: РТА, 2019. – 143 С.
5. Пугачев В.П., Сеницын И.Н. Стохастические дифференциальные системы. Анализ и фильтрация. – М.: Физматлит, 1990. – 642 с.
6. Ватанабэ С. Стохастические дифференциальные уравнения и диффузионные процессы. – М.: Наука, 1986. – 445 с.
7. Глушанков Е.И., Конторович В.Я. Математическое моделирование сигналов различной пространственной когерентности в системах радиосвязи. – В кн.: Адаптивные радиотехнические системы с антенными решетками. – Л.: Издательство ЛГУ, 1991. – С. 432-466.
8. Глушанков Е.И., Конторович В.Я. Синтез марковских моделей стохастических систем при решении задач обеспечения ЭМС РЭС. - Радиотехника и электроника - 1990. - N 19. - С. 73-78.

© Глушанков Е.И., Тунгусков Н.В., 2020