

doi: 10.17586/2226-1494-2026-26-2-349-356

УДК 004.942

**Моделирование и оптимизация информационных потоков
электронного документооборота
в условиях угроз информационной безопасности**
Ирина Романовна Шеховцова¹✉, Игорь Александрович Бессмертный²,
Юрий Петрович Степин³

^{1,2} Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

³ РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, Москва, 119296, Российская Федерация

¹ irshekhovtsova@itmo.ru✉, <https://orcid.org/0009-0002-4037-291X>

² bessmertny@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6711-6399>

³ stepin.y@gubkin.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6588-6338>

Аннотация

Введение. Внедрение различных систем электронного документооборота требует принятия мер их защиты от реализации угроз информационной безопасности, которые могут привести к операционным сбоям, финансовым потерям, срыву планов и ущербу деловой репутации. Предложено решение повышения уровня защищенности информационных потоков в системах электронного документооборота корпоративного сектора от угроз блокирования информации, инициированных внутренними пользователями. **Метод.** Представлена система взаимосвязанных математических моделей, составляющих концептуальную основу цифрового двойника, для анализа текущего состояния информационных потоков в системе электронного документооборота. Разработанный подход позволяет количественно оценить влияние последствий нарушения пользователями регламентов по обработке электронных документов на бизнес-процессы. **Основные результаты.** На основе результатов моделирования сформулированы и решены оптимизационные задачи по выработке стратегий управления движением информационных потоков в условиях неопределенности. **Обсуждение.** Полученные результаты создают объективную основу для формирования конкретных рекомендаций по улучшению процессов документооборота в аспектах информационной безопасности.

Ключевые слова

информационный поток, марковский процесс, риск, система электронного документооборота, дисперсионный анализ, доступность, блокирование информации

Ссылка для цитирования: Шеховцова И.Р., Бессмертный И.А., Степин Ю.П. Моделирование и оптимизация информационных потоков электронного документооборота в условиях угроз информационной безопасности // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2026. Т. 26, № 2. С. 349–356. doi: 10.17586/2226-1494-2026-26-2-349-356

**Modeling and optimization of information flows
in electronic document management systems under information security threats**

Irina R. Shekhovtsova¹✉, Igor A. Bessmertny², Yurii P. Stepin³

^{1,2} ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

³ Gubkin University, Moscow, 119296, Russian Federation

¹ irshekhovtsova@itmo.ru✉, <https://orcid.org/0009-0002-4037-291X>

² bessmertny@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6711-6399>

³ stepin.y@gubkin.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6588-6338>

Abstract

The implementation of various electronic document management systems necessitates protective measures against information security threats, which can lead to operational failures, financial losses, disruption of plans, and damage to business reputation. In this regard, the objective of the study is to enhance the security level of information flows in corporate sector electronic document management systems against information blocking threats initiated by internal users. To achieve this objective, a system of interconnected mathematical models is proposed, forming the conceptual foundation of a digital twin for analyzing the current state of information flows in the electronic document management system. The developed approach enables quantitative assessment of the impact of users' violations of electronic document processing regulations on business processes. Based on the modeling results, optimization problems have been formulated and solved to develop strategies for managing information flow movement under conditions of uncertainty. The obtained results establish an objective foundation for formulating specific recommendations to improve document management processes with respect to information security aspects.

Keywords

information flow, Markov process, risk, electronic document management system, analysis of variance, availability, information blocking

For citation: Shekhovtsova I.R., Bessmertny I.A., Stepin Yu.P. Modeling and optimization of information flows in electronic document management systems under information security threats. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2026, vol. 26, no. 2, pp. 349–356 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2026-26-2-349-356

Введение

Внедрение различных систем электронного документооборота (СЭД) требует принятия мер защиты подобных систем от реализации угроз информационной безопасности. Среди инцидентов информационной безопасности остаются без должного внимания действия (бездействие) авторизованных пользователей СЭД, которые проявляются в несоблюдении регламентов обработки электронных документов (ЭД) и обусловлены недостаточной квалификацией, невнимательностью и небрежностью сотрудников.

Критичность таких нарушений определяется их устойчивостью при отсутствии эффективных механизмов контроля исполнительской дисциплины в СЭД, а также установленным порядком обработки ЭД, при котором не допускается переход на следующий этап без завершения предыдущего. Задержки, вызванные несвоевременным выполнением задач, доработками и повторными итерациями согласования, препятствуют стабильному движению ЭД по маршруту, вызывая угрозы блокирования информации в СЭД. В результате подобные отклонения распространяются на дальнейшие состояния ЭД, приобретают систематический характер и оказывают негативное влияние на бизнес-процессы. Последствия в виде фактического нарушения заданного уровня информационной безопасности (утрата доступности), финансовых потерь, срыва планов, реакции причастных сторон (контрагентов) и ущерба деловой репутации объясняют необходимость интеграции бизнес-процессов по обработке ЭД в СЭД в сферу менеджмента информационной безопасности (ISO/IEC 27005:2022¹).

Для обеспечения заданного уровня информационной безопасности владельцы бизнес-процессов реализуют стратегические меры по оптимизации бизнес-процессов в СЭД и стремятся минимизировать уязвимости СЭД, связанные с действиями пользователей (рис. 1).

Специфика темы настоящей работы не позволяет проводить натурные эксперименты, в связи с чем анализировать последствия и выработать оптимальные стратегии управления бизнес-процессами с учетом критериев информационной безопасности целесообразно на моделях движения информационных потоков (IEC 31010:2019²) [1].

В результате проведенного анализа теоретико-множественных [2, 3], структурно-параметрических [4–6], теоретико-графовых [7, 8] и вероятностно-параметрических [9–11] подходов к моделированию движения информационных потоков в СЭД было выявлено, что рассмотренные методы обладают существенными ограничениями в адекватном моделировании непрерывных случайных величин и масштабируемости на множество однотипных элементов системы (табл. 1).

Вместе с тем применение подходов на основе машинного обучения [12–14] сопряжено со сложностью обеспечения интерпретируемости и верификации получаемых моделей.

На основании того, что моделируемые характеристики информационной безопасности СЭД носят вероятностный характер, рассмотрим возможность применения математического аппарата марковских процессов для описания движения информационных потоков в СЭД и последующего анализа «узких» мест в реализации бизнес-процессов.

Описание предложенного метода

В рамках исследования информационный поток описывается множеством допустимых функций переходов ЭД по маршруту:

$$\mathbf{IF} = \{f | f: (d, s) \rightarrow (d', s'), d, d' \in \mathbf{D}, s, s' \in \mathbf{S}\},$$

где \mathbf{IF} — формальная модель информационного потока; \mathbf{D} — множество версий ЭД, каждая из которых харак-

¹ ISO/IEC 27005:2022 Information security, cybersecurity and privacy protection — Guidance on managing information security risks [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/80585.html> (дата обращения: 20.01.2026).

² IEC 31010:2019 Risk management — Risk assessment techniques [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/72140.html> (дата обращения: 20.01.2026).

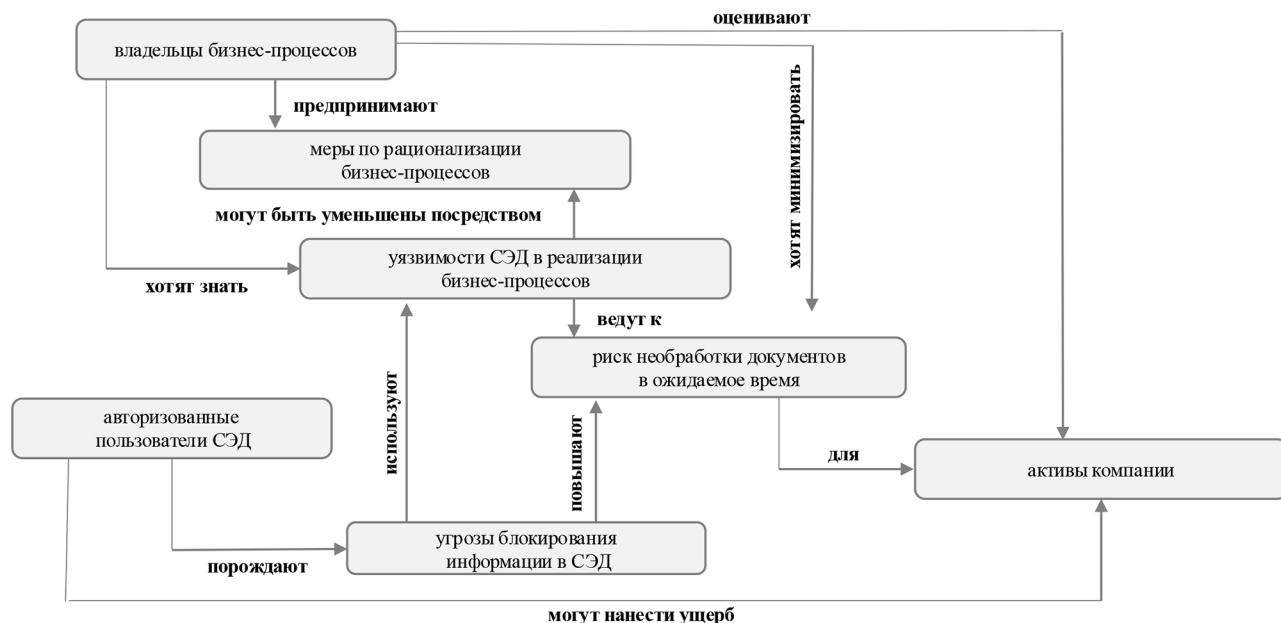


Рис. 1. Модель обеспечения доступности информации в системе электронного документооборота (СЭД) с учетом антропогенных факторов

Fig. 1. Model for ensuring information availability in electronic document management systems with regard to human factors

теризуется набором атрибутов (реквизитов) A и их значений V ; S — множество состояний ЭД; f — функция перехода, описывающая выполнение элементарного действия по обработке ЭД, в результате которого может измениться его содержание и/или состояние; d и d' — версии ЭД до обработки и после обработки; s и s' — состояния ЭД до обработки и после обработки.

В общем случае разработанная марковская модель движения ЭД с непрерывным временем имеет 5 дис-

кретных состояний: подготовка проекта ЭД (S_0); согласование проекта ЭД (S_1); утверждение ЭД (S_2); исполнение и контроль исполнения ЭД (S_3); сдача ЭД в архив (S_4). Топология графа переходов между состояниями определяется типовыми сценариями обработки ЭД в СЭД и может быть использована для моделирования движения любых внутренних ЭД (рис. 2).

Последовательность прямых переходов $S_0 \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4$ соответствует эталонному жизнен-

Таблица 1. Сравнительный анализ подходов к моделированию информационных потоков в системе электронного документооборота

Table 1. Comparative analysis of approaches to information flow modeling in electronic document management system

Подход	Достоинства	Недостатки
Теория множеств (группа теоретико-множественных и структурно-параметрических подходов)	— возможность четкого и формализованного представления движения информационных потоков; — масштабируемость	— ориентированность на статические показатели
Теория графов (группа теоретико-графовых подходов)	— возможность выявления критических узлов и циклов; — гибкость при изменении бизнес-процессов; — возможность четкого и формализованного представления движения информационных потоков; — возможность поиска оптимальных путей	— трудоемкость анализа при значительном количестве вершин и ребер; — ограничения при анализе вероятностных процессов и учете неопределенностей
Сети Петри (группа теоретико-графовых подходов)	— возможность четкого и формализованного представления движения информационных потоков; — возможность выявления циклов и некорректных переходов	— ограничения при анализе вероятностных процессов и учете неопределенностей; — сложность масштабирования на множество однотипных элементов системы; — трудность в интерпретации результатов
Сети Петри–Маркова (группа вероятно-параметрических подходов)	— возможность четкого и формализованного представления движения информационных потоков; — возможность анализа динамических и временных характеристик; — учет вероятностного характера процессов	— сложность масштабирования на множество однотипных элементов системы; — невозможность анализа непрерывных случайных величин

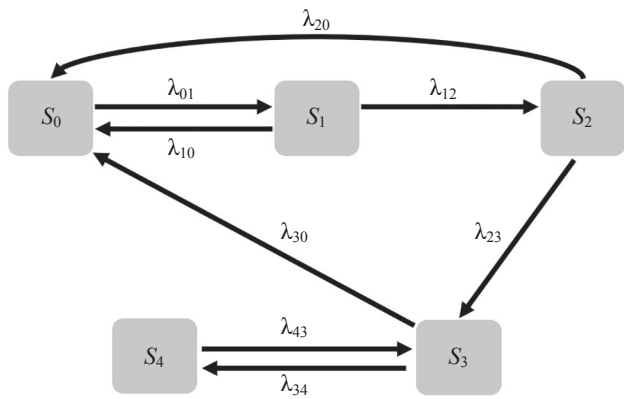


Рис. 2. Марковская модель движения электронных документов в системе электронного документооборота. λ_{ij} — интенсивность перехода из состояния S_i в состояние S_j

Fig. 2. Markov model of electronic document movement in electronic document management systems, where λ_{ij} denotes the transition rate from state S_i to state S_j

ному циклу ЭД и обеспечивает его перемещение от подготовки проекта до сдачи в архив. Наряду с этим модель учитывает сценарии обратных переходов: возврат проекта ЭД на доработку в ходе его согласования или утверждения руководителем (переходы $S_1 \rightarrow S_0$ и $S_2 \rightarrow S_0$), а также возврат ЭД на исполнение в результате выявленных несоответствий (переход $S_4 \rightarrow S_3$). Переход $S_3 \rightarrow S_0$ отражает особый случай, при котором исполняемый ЭД порождает новый ЭД, инициирующий собственный цикл обработки. Отсутствие прочих переходов обусловлено пренебрежимо малой вероятностью их реализации, что позволяет упростить модель без снижения ее адекватности.

В рамках модели предполагается, что переходы ЭД между состояниями происходят случайным образом под воздействием потоков событий, интенсивности которых обратно пропорциональны среднему времени обработки ЭД в каждом состоянии.

Стандартный подход к описанию таких переходов основан на составлении системы дифференциальных уравнений Колмогорова–Чепмена относительно вероятностей состояний. Однако экспоненциальный рост числа уравнений с увеличением числа ЭД создает вычислительные трудности. Для их преодоления применен метод динамики средних, позволяющий непосредственно определять математическое ожидание числа ЭД в СЭД в идентичных состояниях.

Введем дискретную случайную величину $x_i^k(t)$, которая с вероятностью $p_i(t)$ определяет нахождение k -го ЭД в i -ом состоянии в момент времени t . Данная дискретная случайная величина имеет распределение Бернулли (табл. 2).

Таблица 2. Распределение дискретной случайной величины $x_i^k(t)$

Table 2. Distribution of the discrete random variable $x_i^k(t)$

$x_i^k(t)$	0	1
$P\{x_i^k(t) = m\}, m = 0, 1$	$1 - p_i(t)$	$p_i(t)$

Математическое ожидание дискретной случайной величины $x_i^k(t)$ определяется выражением:

$$M[x_i^k(t)] = 0 \times (1 - p_i(t)) + p_i(t) = p_i(t).$$

Введем вторую дискретную случайную величину $x_i(t)$, которая определяет число ЭД в СЭД в i -ом состоянии в момент времени t . Тогда для любого момента времени t :

$$x_i(t) = \sum_{k=1}^N x_i^k(t),$$

где N — моделируемое число ЭД.

По теореме сложения математических ожиданий и в силу однородности ЭД и независимости их состояний для математического ожидания дискретной случайной величины $x_i(t)$ имеем:

$$m_i(t) = M[x_i(t)] = \sum_{k=1}^N M[x_i^k(t)] = Np_i(t).$$

Полученное равенство устанавливает связь между вероятностью i -го состояния ЭД и математическим ожиданием числа ЭД в СЭД в данном состоянии.

Система дифференциальных уравнений Колмогорова–Чепмена относительно математических ожиданий имеет вид:

$$\frac{dm_i(t)}{dt} = -m_i(t) \sum_{j=0}^{n-1} \lambda_{ij}(t) + \sum_{i=0}^{n-1} \lambda_{ji}(t) m_j(t), \quad j \neq i$$

где $m_i(t)$ — математическое ожидание числа ЭД в СЭД в i -ом состоянии; $\lambda_{ij}(t)$ — функция интенсивности перехода из i -го состояния в j -е состояние; n — число моделируемых состояний (нумерация начинается с нуля).

Используемый метод динамики средних обеспечивает повышенную точность моделирования ввиду того, что в предельном случае суммирование и разрежение потоков обработки каждого ЭД сводится к простейшему потоку, что согласуется со свойствами непрерывных марковских процессов [15].

Описание экспериментов

Для более точного отражения реальных бизнес-процессов общая модель может быть адаптирована к частным случаям обработки ЭД по различным маршрутам. В качестве примера исследован жизненный цикл договоров в холдинговой компании.

Набор состояний для таких ЭД определен следующим образом: S_0 — подготовка проекта ЭД; $S_{1,0}$ — согласование заместителем директора по контрактной деятельности; $S_{1,1}$ — согласование заместителем директора по экономике и финансам; $S_{1,2}$ — согласование генеральным директором; $S_{1,3}$ — согласование отделом закупок; $S_{1,4}$ — согласование юридическим управлением; $S_{1,5}$ — согласование планово-экономическим управлением; S_2 — утверждение ЭД; S_3 — исполнение и контроль исполнения ЭД; S_4 — передача ЭД в архив.

Для марковского процесса была определена матрица интенсивностей переходов (табл. 3), полученная в

Таблица 3. Матрица интенсивностей переходов для модели движения договоров в системе электронного документооборота, ч⁻¹
 Table 3. Transition intensity matrix for the model of contract movement in the electronic document management system, h⁻¹

Состояния	S ₀	S _{1,0}	S _{1,1}	S _{1,2}	S _{1,3}	S _{1,4}	S _{1,5}	S ₂	S ₃	S ₄
S ₀	0	0,07	0,03	0,04	0	0,03	0,13	0	0	0
S _{1,0}	0	0	0,09	0,10	0	0,08	0	0	0	0
S _{1,1}	0,04	0	0	0	0	0,06	0	0	0	0
S _{1,2}	0,05	0	0	0	0	0	0	0,15	0	0
S _{1,3}	0	0,20	0	0	0	0	0	0	0	0
S _{1,4}	0,09	0	0	0,07	0	0	0	0,07	0	0
S _{1,5}	0,11	0,14	0,09	0	0,08	0	0	0	0	0
S ₂	0,09	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0
S ₃	0,11	0	0	0	0	0	0	0	0	0,002
S ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0

результате статистического анализа выгрузки исполнительской дисциплины из реальной СЭД корпоративного сектора.

Анализ установившегося режима ($t \rightarrow \infty$) выявил существенные блокировки дальнейшего движения ЭД на этапах согласования: $m_{1,0}$ составляет 9 % от всех ЭД; $m_{1,1}$ — 19 %; $m_{1,2}$ — 11 %; $m_{1,3}$ — 2 %; $m_{1,4}$ — 10 %; $m_{1,5}$ — 5 %. Такая тенденция приводит к блокированию информации в ЭД для пользователей, предусмотренных маршрутом обработки.

Применительно к количественной оценке последствий подобных нарушений доступности ЭД введена классификация состояний по степени потенциального влияния на бизнес-процессы. Из пребывания ЭД в производительных состояниях (S_3) может быть извлечена некоторая выгода, в то время как длительное нахождение ЭД в критических состояниях ($S_0, S_{1,0}, S_{1,1}, S_{1,2}, S_{1,3}, S_{1,4}, S_{1,5}, S_2, S_4$) может повлечь за собой социальные, репутационные, экономические и организационные риски. Стоимости каждого состояния в отношении обработки одного ЭД оценены в условных единицах с учетом их многокритериального характера: $C_0 = 30$ усл. ед., $C_{1,0} = 12$ усл. ед., $C_{1,1} = 30$ усл. ед., $C_{1,2} = 15$ усл. ед., $C_{1,3} = 25$ усл. ед., $C_{1,4} = 9$ усл. ед., $C_{1,5} = 21$ усл. ед., $C_2 = 7$ усл. ед., $C_3 = 60$ усл. ед., $C_4 = 0$ усл. ед.

В соответствии с требованиями ИЕС 31010:2019¹ и ISO/IEC 27005:2022² предложена дисперсионная модель оценки рисков, в рамках которой под риском понимается мера неопределенности (ущерб или выгода) процесса документооборота, выраженная через среднеквадратическое отклонение числа ЭД от статистически ожидаемых значений:

$$R_j(t) = C_j \sigma_j(t) t = C_j \sqrt{m_j(t) \left(1 - \frac{m_j(t)}{N}\right)} t,$$

¹ ИЕС 31010:2019 Risk management — Risk assessment techniques [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/72140.html> (дата обращения: 27.01.2026).

² ISO/IEC 27005:2022 Information security, cybersecurity and privacy protection — Guidance on managing information security risks [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/80585.html> (дата обращения: 27.01.2026).

где $R_j(t)$ — величина риска; $m_j(t)$ — математическое ожидание числа ЭД в СЭД в j -ом состоянии; $\sigma_j(t)$ — среднеквадратическое отклонение числа ЭД от $m_j(t)$ в j -ом состоянии; C_j — стоимость j -го состояния одного ЭД.

Выполнена оценка величины риска за единичный период времени ($t = 1$), что соответствует временному интервалу в один месяц. В течение данного периода моделируемая СЭД достигает стационарного режима работы, что позволяет рассматривать риск как не зависящую от времени величину.

Вероятностные характеристики информационной безопасности СЭД (m_j и λ_{ij}) являются параметрами управления и позволяют формировать различные стратегии рационализации процессов документооборота в СЭД с учетом допустимых вариантов их сочетания (в условиях ограниченности ресурсов) и ряда критериев: — максимизация выгоды от производительных состояний ЭД (F_1); — минимизация суммы рисков потерь от критических состояний ЭД (F_2); — минимизация риска недополучения выгоды от производительных состояний ЭД (F_3); — максимизация «доход – риск» (F_4, F_5).

Математически критерии формулируются следующим образом:

$$F_1 = \sum_i C_i m_i \rightarrow \max,$$

$$F_2 = \sum_k C_k \sqrt{D_k} \rightarrow \min,$$

$$F_3 = \sum_i C_i \sqrt{D_i} \rightarrow \min,$$

$$F_4 = F_1 - F_2 \rightarrow \max,$$

$$F_5 = F_1 - F_3 \rightarrow \max,$$

где C_i — выгода от i -го производительного состояния; C_k — потери от k -го критического состояния; m_i — математическое ожидание числа ЭД в i -ом производительном состоянии в установившемся режиме ($t \rightarrow \infty$); D_k — дисперсия числа ЭД в k -ом критическом состоянии в установившемся режиме ($t \rightarrow \infty$); D_i — дисперсия числа ЭД в i -ом производительном состоянии в установившемся режиме ($t \rightarrow \infty$).

Принципиально может рассматриваться сколько угодно стратегий оптимизации движения информационных потоков в СЭД, однако их генерация и решение соответствующих им оптимизационных задач должны выполняться в автоматизированном режиме [16], в результате была разработана и зарегистрирована программа для ЭВМ [17].

Решение оптимизационных задач позволяет получить значения управляемых параметров, которые обобщают требования ко временным характеристикам обработки ЭД и выступают в качестве численных показателей безопасности процессов документооборота в СЭД.

Обсуждение

Для договорного процесса были сформированы три стратегии с наборами состояний, вероятностные характеристики которых (m_j и λ_{ij}) являлись приемлемыми и фиксировались: $S_{1,2}, S_2, S_4$ (стратегия 1), $S_{1,0}, S_{1,5}, S_4$ (стратегия 2), $S_{1,2}, S_{1,4}, S_4$ (стратегия 3).

Каждая стратегия определяла задачу многокритериальной оптимизации, для решения которой применялся

метод последовательных уступок: исходная задача сводилась к последовательности однокритериальных задач с накапливающимися ограничениями. Полученные задачи решались согласно приоритетам критериев (F_4, F_5, F_1, F_2, F_3) с соблюдением допустимых отклонений от ранее найденных оптимумов: для F_4 — 3 %, для F_5 — 5 %, для F_1 — 7 %, для F_2 — 10 %, для F_3 — не задано.

В табл. 4 представлены оптимальные параметры управления движением информационных потоков в СЭД для стратегии 2, а в табл. 5 — значения критериев до оптимизации и по стратегиям 1–3.

Поиск лучшей стратегии выполнен по правилу многокритериального ранжирования Борда: стратегия 2 набрала максимальную сумму рангов.

Реализация стратегии 2 (табл. 4) предусматривает комплекс организационных и технических мер защиты, направленных на оптимизацию временных затрат в критических точках бизнес-процессов. Ожидается снижение рисков блокирования информации в СЭД на 15 % (снижение рисков потерь от критических состояний по критерию F_2) при двухкратном росте доходности (критерии F_1, F_4, F_5), что демонстрирует высокую экономическую эффективность выбранной стратегии.

Таблица 4. Оптимальные параметры управления движением информационных потоков в системе электронного документооборота (стратегия 2), ч⁻¹

Table 4. Optimal control parameters for information flow management in the electronic document management system (Strategy 2), h⁻¹

Состояния	S_0	$S_{1,0}$	$S_{1,1}$	$S_{1,2}$	$S_{1,3}$	$S_{1,4}$	$S_{1,5}$	S_2	S_3	S_4
S_0	0	0,070	0,030	0,101	0	0,127	0,13	0	0	0
$S_{1,0}$	0	0	0,040	0,085	0	0,100	0	0	0	0
$S_{1,1}$	0,125	0	0	0	0	0,125	0	0	0	0
$S_{1,2}$	0,104	0	0	0	0	0	0	0,16	0	0
$S_{1,3}$	0	0,200	0	0	0	0	0	0	0	0
$S_{1,4}$	0,061	0	0	0,063	0	0	0	0,125	0	0
$S_{1,5}$	0,040	0,140	0,040	0	0,075	0	0	0	0	0
S_2	0,030	0	0	0	0	0	0	0	0,150	0
S_3	0,100	0	0	0	0	0	0	0	0	0,002
S_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0,020	0

Таблица 5. Результаты критериев до оптимизации и по стратегиям 1–3, усл. ед.

Table 5. Optimization results before optimization and for Strategies 1–3, conventional units

Стратегия	Критерии				
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
До оптимизации	11 940	1735	790	10 205	11 150
Стратегия 1	14 915	1540	865	13 375	14 050
Стратегия 2	23 770	1455	1030	22 315	22 745
Стратегия 3	19 800	1560	965	18 240	18 835

Заключение

Представлена разработка системы взаимосвязанных математических моделей, состоящая из марковской модели движения электронных документов и дисперсионной модели многокритериальной оценки рисков. Практическая ценность работы определяется возможностью количественной оценки потенциального ущерба от угроз блокирования информации в системе электронного документооборота, идентификации «узких» мест в реализации бизнес-процессов и формирования конкретных рекомендаций по совершенствованию информационных потоков в системе электронного документооборота с учетом критериев информационной безопасности.

Литература

1. Лившиц И.И., Степин Ю.П., Соколов Е.О., Шеховцова И.Р. Математическая модель для оценки безопасности систем электронного документооборота // Газовая промышленность. 2024. № 6 (867). С. 76–87.
2. Obukhov A., Krasnyanskiy M., Nikolyukin M. Algorithm of adaptation of electronic document management system based on machine learning technology // Progress in Artificial Intelligence. 2020. V. 9. N 4. P. 287–303. <https://doi.org/10.1007/s13748-020-00214-2>
3. Kirov A., Sizov V. Development of a method for targeted monitoring and processing of information security incidents of economic entities // Journal of Computer Virology and Hacking Techniques. 2023. V. 19. N 3. P. 381–386. <https://doi.org/10.1007/s11416-022-00449-8>
4. Krasnyanskiy M., Ostroukh A., Karpushkin S., Obukhov A. Algorithm for structural and parametric synthesis of electronic document management system of research and education institution // Journal of Applied Sciences. 2016. V. 16. N 7. P. 332–337. <https://doi.org/10.3923/jas.2016.332.337>
5. Obukhov A., Krasnyanskiy M., Dedov D., Karpushkin S. Mathematical model of information processing in electronic document management system // International Review of Automatic Control. 2018. V. 11. N 6. P. 336–345. <https://doi.org/10.15866/ireaco.v11i6.15305>
6. Obukhov A., Krasnyanskiy M., Dedov D. Formulation of two-stage problem of structural-parametric synthesis of adaptive electronic document management system // The International Arab Journal of Information Technology. 2021. V. 18. N 1. P. 48–55. <https://doi.org/10.34028/iajit/18/1/6>
7. Muminov B., Dauletov A. Mathematical and information model of electronic document management system // Proc. of the International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). 2021. P. 1–4. <https://doi.org/10.1109/icisct52966.2021.9670326>
8. Muminov B., Dauletov A. Classification and mathematical model of electronic document circulation systems // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. 2020. V. 7. N 10. P. 15142–15150.
9. Язов Ю.К., Авсентьев О.С., Рубцова И.О. К вопросу об оценке эффективности защиты информации в системах электронного документооборота // Вопросы кибербезопасности. 2019. № 1 (29). С. 25–34. <https://doi.org/10.21681/2311-3456-2019-1-25-34>
10. Елисеев Н.И., Тали Д.И., Обланенко А.А. Оценка уровня защищенности автоматизированных информационных систем юридически значимого электронного документооборота на основе логико-вероятностного метода // Вопросы кибербезопасности. 2019. № 6 (34). С. 7–16. <https://doi.org/10.21681/2311-3456-2019-6-07-16>
11. Mbindzoukou P.M., Nembe J. A stochastic model for document processing systems // International Journal of Information Engineering and Electronic Business. 2016. V. 8. N 5. P. 52–59. <https://doi.org/10.5815/ijieeb.2016.05.07>

Разработанные математические модели составляют концептуальную основу адаптивного цифрового двойника, обеспечивающего непрерывный анализ состояния системы электронного документооборота и динамическую корректировку ее параметров.

Перспективным направлением развития предложенного решения является реализация мультиагентного подхода, где автономные интеллектуальные агенты, базирующиеся на разработанном марковском аппарате, решают специализированные задачи: построение оптимальных маршрутов согласования, идентификацию критических точек, формирование аналитических отчетов. Такая архитектура обеспечивает создание самообучающейся системы, способной адаптироваться к изменениям среды.

References

1. Livshits I.I., Stepin Yu.P., Sokolov E.O., Shekhovtsova I.R. Mathematical model for assessment of security of electronic document flow systems. *Gazovaya promyshlennost'*, 2024, no. 6 (867), pp. 76–87. (in Russian)
2. Obukhov A., Krasnyanskiy M., Nikolyukin M. Algorithm of adaptation of electronic document management system based on machine learning technology. *Progress in Artificial Intelligence*, 2020, vol. 9, no. 4, pp. 287–303. <https://doi.org/10.1007/s13748-020-00214-2>
3. Kirov A., Sizov V. Development of a method for targeted monitoring and processing of information security incidents of economic entities. *Journal of Computer Virology and Hacking Techniques*, 2023, vol. 19, no. 3, pp. 381–386. <https://doi.org/10.1007/s11416-022-00449-8>
4. Krasnyanskiy M., Ostroukh A., Karpushkin S., Obukhov A. Algorithm for structural and parametric synthesis of electronic document management system of research and education institution. *Journal of Applied Sciences*, 2016, vol. 16, no. 7, pp. 332–337. <https://doi.org/10.3923/jas.2016.332.337>
5. Obukhov A., Krasnyanskiy M., Dedov D., Karpushkin S. Mathematical model of information processing in electronic document management system. *International Review of Automatic Control*, 2018, vol. 11, no. 6, pp. 336–345. <https://doi.org/10.15866/ireaco.v11i6.15305>
6. Obukhov A., Krasnyanskiy M., Dedov D. Formulation of two-stage problem of structural-parametric synthesis of adaptive electronic document management system. *The International Arab Journal of Information Technology*, 2021, vol. 18, no. 1, pp. 48–55. <https://doi.org/10.34028/iajit/18/1/6>
7. Muminov B., Dauletov A. Mathematical and information model of electronic document management system. Proc. of the International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), 2021, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/icisct52966.2021.9670326>
8. Muminov B., Dauletov A. Classification and mathematical model of electronic document circulation systems. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 2020, vol. 7, no. 10, pp. 15142–15150.
9. Yazov Yu.K., Avsentyev O.S., Rubtsova I.O. On the evaluation of the effectiveness information protection in electronic document management systems. *Voprosy Kiberbezopasnosti*, 2019, no. 1 (29), pp. 25–34. (in Russian). <https://doi.org/10.21681/2311-3456-2019-1-25-34>
10. Eliseev N.I., Tali D.I. Procedure for evaluation of functioning of the automated information systems of legally relevant electronic document flow. *Voprosy Kiberbezopasnosti*, 2019, no. 6 (34), pp. 7–16. (in Russian). <https://doi.org/10.21681/2311-3456-2019-6-07-16>
11. Mbindzoukou P.M., Nembe J. A stochastic model for document processing systems. *International Journal of Information Engineering and Electronic Business*, 2016, vol. 8, no. 5, pp. 52–59. <https://doi.org/10.5815/ijieeb.2016.05.07>

12. Obukhov A., Krasnyanskiy M., Nikolyyukin M. Implementation of decision support subsystem in electronic document systems using machine learning techniques // *Proc. of the International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*. 2019. P. 1–6. <https://doi.org/10.1109/FarEastCon.2019.8934879>
13. Lan L., Liu Y., Lu W.F. Automatic discovery of design task structure using deep belief nets // *Journal of Computing and Information Science in Engineering*. 2017. V. 17. N 4. P. 0411001. <https://doi.org/10.1115/1.4036198>
14. Sambetbayeva M., Kuspanova I., Yerimbetova A., Serikbayeva S., Bauyrzhanova S. Development of intelligent electronic document management system model based on machine learning methods // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. V. 1. N 2 (115). P. 68–76. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251689>
15. Тараканов К.В., Овчаров Л.А., Тырышкин А.Н. Аналитические методы исследования систем. М.: Советское радио, 1974. 240 с.
16. Степин Ю.П. Компьютерная поддержка формирования, многокритериального ранжирования и оптимизации управленческих решений в нефтегазовой отрасли. М.: Недра, 2016. 421 с.
17. Шеховцова И.Р. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025616835 Российская Федерация. Информационно-аналитическая система «Управление рисками информационной безопасности системы электронного документооборота» (ИАС УРИБ СЭД). Номер и дата поступления заявки: 2025614866 12.03.2025. Дата публикации: 19.03.2025 Бюл. № 3.
12. Obukhov A., Krasnyanskiy M., Nikolyyukin M. Implementation of decision support subsystem in electronic document systems using machine learning techniques. *Proc. of the International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*, 2019, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/FarEastCon.2019.8934879>
13. Lan L., Liu Y., Lu W.F. Automatic discovery of design task structure using deep belief nets. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 2017, vol. 17, no. 4, pp. 0411001. <https://doi.org/10.1115/1.4036198>
14. Sambetbayeva M., Kuspanova I., Yerimbetova A., Serikbayeva S., Bauyrzhanova S. Development of intelligent electronic document management system model based on machine learning methods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2022, vol. 1, no. 2 (115), pp. 68–76. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251689>
15. Tarakanov K.V., Ovcharov L.A., Tyryshkin A.N. *Analytical Methods for the Systems Study*. Moscow, Soviet Radio Publ., 1974, 240 p. (in Russian)
16. Stepin Yu.P. *Computer Support for the Formation, Multi-Criteria Ranking and Optimization of Management Decisions in the Oil and Gas Industry*. Moscow, Nedra Publ., 2016, 421 p. (in Russian)
17. Shekhovtsova I.R. *Information analysis system “Information security risk management for electronic document exchange system” (IAS ISRM EDEX)*. Certificate of the State computer program registration RU 2025616835. 2025. (in Russian)

Авторы

Шеховцова Ирина Романовна — аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, <https://orcid.org/0009-0002-4037-291X>, irshekhovtsova@itmo.ru

Бессмертный Игорь Александрович — доктор технических наук, профессор, профессор, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, [sc 36661767800](https://orcid.org/0000-0001-6711-6399), <https://orcid.org/0000-0001-6711-6399>, bessmertny@itmo.ru

Степин Юрий Петрович — доктор технических наук, профессор, РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, Москва, 119296, Российская Федерация, [sc 57212574631](https://orcid.org/0009-0001-6588-6338), <https://orcid.org/0009-0001-6588-6338>, stepin.y@gubkin.ru

Статья поступила в редакцию 26.11.2025
Одобрена после рецензирования 03.02.2026
Принята к печати 20.03.2026

Authors

Irina R. Shekhovtsova — PhD Student, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0002-4037-291X>, irshekhovtsova@itmo.ru

Igor A. Bessmertny — D.Sc., Full Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, [sc 36661767800](https://orcid.org/0000-0001-6711-6399), <https://orcid.org/0000-0001-6711-6399>, bessmertny@itmo.ru

Yurii P. Stepin — D.Sc., Professor, Gubkin University, Moscow, 119296, Russian Federation, [sc 57212574631](https://orcid.org/0009-0001-6588-6338), <https://orcid.org/0009-0001-6588-6338>, stepin.y@gubkin.ru

Received 26.11.2025
Approved after reviewing 03.02.2026
Accepted 20.03.2026



Работа доступна по лицензии
Creative Commons
«Attribution-NonCommercial»