

МИКРОСЕРВИСНАЯ АРХИТЕКТУРА И BERT-МОДЕЛИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМ ДОКУМЕНТООБОРОТЕ ПРОФОБРАЗОВАНИЯ

Ф.С. Комилийён¹, М.Ф. Рахимов²

¹Таджикский национальный университет

²Институт математики имени А. Джураева НАНТ

Статья посвящена реализации математической модели интеллектуальной системы документооборота на основе микросервисной архитектуры и трансформерных моделей BERT адаптированной под структуру Центрального аппарата Комитета по начальному и среднему профессиональному образованию при Правительстве Республики Таджикистан. Результаты исследования подтверждают эффективность использования микросервисной архитектуры в сочетании с современными методами обработки естественного языка.

Ключевые слова: микросервисная архитектура, документооборот, машинное обучение, математическое моделирование, обработка естественного языка, методы на основе правил, адаптивность, точность, масштабируемость, трансформерные модели BERT, gRPC, интеллектуальная обработка документов.

АРХИТЕКТУРАИ МИКРОСЕРВИСҶИ ВА BERT-АМСИЛАҶО ДАР СИСТЕМАИ ЗЕҶНИИ ИДОРАКУНИИ САНАДҶОИ ТАҲСИЛОТИ КАСБӢ

Ф.С. Комилийён, М.Ф. Раҳимов

Дар мақола татбиқи амсилаи математикии низоми зеҷнии гардиши санадҳо, ки бар асоси архитектураи микросервисӣ ва амсилаҳои трансформерии BERT ба сохтори Дастгоҳи марказии Қумитаи таҳсилоти ибтидоӣ ва миёнаи касбии назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон мутобиқ гардонида шудаанд, баррасӣ шудааст. Натиҷаҳои таҳқиқот самаранокии истифодаи ҳамҷояи архитектураи микросервисиро бо усулҳои муосири коркарди забони табиӣ тасдиқ мекунад.

Калидвожаҳо: архитектураи микросервисӣ, гардиши ҳуҷҷатҳо, омӯзиши мошинӣ, амсиласозии математикӣ, коркарди забони табиӣ, усулҳои қоидаасос, мутобиқшавӣ, дақиқӣ, миқёспазирӣ, амсилаҳои трансформерии BERT, gRPC, коркарди зеҷнии ҳуҷҷатҳо.

MICROSERVICE ARCHITECTURE AND BERT MODELS IN INTELLIGENT DOCUMENT MANAGEMENT IN PROFESSIONAL EDUCATION

F.S. Komiliyon, M.F. Rahimov

This article explores the implementation of a mathematical model for an intelligent document management system based on a microservice architecture and BERT transformer models, adapted to the structure of the Central Office of the Committee on Primary and Secondary Professional Education under the Government of the Republic of Tajikistan. The results of the study confirm the effectiveness of using a microservice architecture in combination with modern natural language processing methods.

Keywords: microservice architecture, document management, machine learning, mathematical modeling, natural language processing, rule-based methods, adaptability, accuracy, scalability, BERT transformer models, gRPC, intelligent document processing.

Введение

Современные государственные учреждения функционируют в условиях интенсивного роста объемов документооборота, что требует внедрения интеллектуальных методов обработки неструктурированных данных.

Традиционные системы документооборота, построенные на монолитной архитектуре и методы обработки данных, на основе жестких правил (rule-based) характеризуются низкой адаптивностью и ограниченной масштабируемостью [24-30].

Переход к микросервисной архитектуре позволил строить распределённые системы, обладающие высокой отказоустойчивостью и гибкостью горизонтального масштабирования [2-9; 14; 18; 22; 27-29].

Параллельно с этим значительный прогресс достигнут в области обработки естественного языка (NLP), где трансформерные архитектуры, в частности модель BERT, демонстрируют высокую точность извлечения структурированной информации и понимания контекста документа [4; 12-23].

Целью настоящего исследования является разработка математической модели интеллектуальной системы документооборота, основанной на микросервисной архитектуре и моделях BERT [5; 7; 14].

Модель адаптирована под структуру Центрального аппарата Комитета по начальному и среднему профессиональному образованию при Правительстве Республики Таджикистан (Комитет), включающего восемь функциональных подразделений (рисунок 1):

- Управление начального профессионального образования;
- Управление среднего профессионального образования;
- Управление финансов, планирования и бухгалтерии;

- Отдел кадров, секретариат и специальных работ;
- Отдел международных отношений и связи с общественностью;
- Отдел права, делопроизводства и контроля;
- Сектор информационных технологий и цифровизации;
- Хозяйственный и техническо-вспомогательный отдел.



Рисунок 1 – Структура Центрального аппарата Комитета по начальному и среднему профессиональному образованию при Правительстве Республики Таджикистан

Методы исследования

Практическая реализация микросервисной системы документооборота на базе моделей BERT, адаптированной под структуру Комитета, представляет собой комплексное решение, включающее:

архитектурную модель – описание функциональных и инфраструктурных компонентов;

математическую формализацию – описание механизмов внимания, метрик эффективности и динамики информационных потоков;

логику внедрения – интеграцию модулей в бизнес-процессы восьми подразделений с использованием гибридной модели отказоустойчивости.

Математическая модель системы

Центральный аппарат Комитета по начальному и среднему профессиональному образованию рассматривается как распределённая система:

$$\mathcal{S} = \langle \mathcal{U}, \mathcal{D}, \mathcal{M}, \mathcal{A}, \mathcal{C} \rangle, \quad (1)$$

где $\mathcal{U}$ – множество подразделений Комитета, $\mathcal{D}$ – поток документов Комитета, $\mathcal{M}$ – множество микросервисов, $\mathcal{A}$ – интеллектуальный модуль (BERT), $\mathcal{C}$ – коммуникационная среда (gRPC/API).

Подразделения Центрального аппарата Комитета (доменная декомпозиция)

$$\mathcal{U} = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6, U_7, U_8\}, \quad (2)$$

где U_1 – «Начальное профессиональное образование», U_2 – «Среднее профессиональное образование», U_3 – «Финансы и бухгалтерия», U_4 – «Кадры и секретариат», U_5 – «Международные отношения», U_6 – «Право и контроль», U_7 – «IT и цифровизация», U_8 – «Хозяйственный отдел».

Поток документов (ключевая часть модели)

Каждый документ Комитета представляется следующим образом:

$$d_i = (x_i, y_i, m_i, t_i), \quad (3)$$

где, x_i – текст документа, y_i – извлечённые сущности, m_i – метаданные, t_i – время обработки.

Функция обработки документа:

$$y_i = f_{AI}(x_i), \quad (4)$$

где f_{AI} – модель BERT:

$$\hat{y} = \arg \max_{\hat{y}} \mathcal{P}(\hat{y} | X; \theta), \quad (5)$$

где θ – параметры модели BERT. Такое представление соответствует вероятностной модели последовательной разметки [11; 21].

Архитектура микросервисов

Система разбивается на множества микросервисов, соответствующих подразделениям Центрального аппарата Комитета (таблица 1):

$$\mathcal{M} = \{M_{DOC}, M_{FIN}, M_{HR}, M_{EXT}, M_{CTRL}, M_{AI}, M_{RES}\}. \quad (6)$$

Таблица 1 – Соответствие микросервисов подразделениям Комитета

Подразделение Комитета	Архитектурное название микросервиса	Функциональное название микросервиса
Образование (U_1, U_2)	M_{DOC}	Сервис документов (Document Service)
Финансы и бухгалтерия (U_3)	M_{FIN}	Финансовый сервис (Financial Service)
Кадры и секретариат (U_4)	M_{HR}	Сервис кадров (HR Service)
Международные отношения (U_5)	M_{EXT}	Сервис внешних коммуникаций (External Communication Service)
Право и контроль (U_6)	M_{CTRL}	Сервис управления и контроля (Control Service)
ИТ и цифровизация (U_7) – информационные технологии	M_{AI}	Сервис ИИ и инфраструктуры (AI & Infra Service)
Хозяйство (U_8)	M_{RES}	Сервис ресурсов и архива (Resource Service)

Назначения и задачи микросервисов

Стоит отметить, что помимо микросервисов, перечисленных в формуле (6), в математической модели учтены еще два инфраструктурных компонента (микросервиса) M_{API} (шлюз) и M_{AUTH} (безопасность), которые являются сквозными общесистемными функциями платформы. Они обеспечивают связность, взаимодействие и безопасность для всех функциональных микросервисов, представленных в таблице 1, но вынесены за рамки привязки к конкретным подразделениям.

1. Микросервис M_{API} выполняет роль системного шлюза (API Gateway) и маршрутизатора обращений, т.е. центральной точкой входа всех запросов: $M_{API}: R_{ext} \rightarrow R_{int}$, где R_{ext} – внешние запросы, R_{int} – запросы, маршрутизированные к внутренним сервисам. В функции данного микросервиса входят маршрутизация, балансировка нагрузки и агрегация ответов.

2. Микросервис M_{AUTH} предназначен для аутентификации и авторизации пользователей (обеспечения безопасности): $M_{AUTH}: (u, c) \rightarrow \{0, 1\}$, где u – пользователь, c – учетные данные. Данный микросервис реализует функции входа, проверки прав доступа и управления ролями.

Микросервисы, фигурирующие в формуле (6), имеют следующие назначения и задачи:

3. Микросервис документов (M_{DOC}) предназначен для хранения, обработки и управления жизненным циклом документов подразделений сферы «Образование» (U_1, U_2) Комитета: начального (U_1) и среднего (U_2) профессионального образования. Логика работы описывается как $M_{DOC}: x \rightarrow (m, s)$, где x – документ, m – метаданные, s – статус документа. Задачами данного микросервиса являются загрузка, хранение, поддержка версии, передача документов для обработки ИИ и обеспечение целостности нормативно-правовой и учебной документации.

4. Микросервис финансов (M_{FIN}) предназначен для управления бизнес-процессами и сопровождения документооборота подразделения «Финансы» (U_3): $M_{FIN}: (d, s) \rightarrow s'$, где $s \rightarrow s'$ – изменения состояния документа. В функции данного

микросервиса входят обработка финансовых отчетов и смет, извлечение специфических сущностей (сумм, реквизитов), а также контроль бюджетных документов Комитета.

5. Микросервис кадров (M_{HR}) предназначен для работы с личным составом и приказами подразделения «Кадры» (U_4). Задачами данного микросервиса являются ведение личных дел, управление трудовыми договорами и автоматизация кадрового делопроизводства.

6. Микросервис внешних коммуникаций (M_{EXT}) предназначен для взаимодействия с внешними контрагентами для подразделения «Международные отношения» (U_5). В функции данного микросервиса входят обработка входящей/исходящей корреспонденции, маршрутизация запросов и интеграция с внешними шинами данных.

7. Микросервис управления и контроля (M_{CTRL}) предназначен для юридического сопровождения и надзора подразделения «Право» (U_6). В функции данного микросервиса входят согласование документов и регламентов, проверка прав доступа, контроль исполнения поручений и документов, маршрутизация документов между подразделениями Комитета.

8. Микросервис ИИ и инфраструктуры (M_{AI}) предназначен для интеллектуальной обработки и анализа текстов документов (распознавания сущностей NER, классификации) для нужд IT-подразделения Комитета (U_7). Математическое описание работы микросервиса M_{AI} основывается на функции обработки документа (4): $y_i = f_{AI}(x_i)$, где f_{AI} реализуется через модель BERT в виде задачи классификации или разметки последовательностей (5): $\hat{Y} = \arg \max_{\hat{Y}} \mathcal{P}(Y | X; \theta)$, где θ – параметры модели. Такое

представление позволяет микросервису M_{AI} эффективно извлекать именованные сущности и классифицировать документы для нужд IT-подразделения Комитета (U_7). Итак, микросервис M_{AI} реализует функции классификации документов на основе моделей BERT, извлечения именованных сущностей (ФИО, дата, сумма) (NER), балансировки нагрузки, текстового анализа документов и агрегации аналитических ответов.

9. Микросервис ресурсов и архива (M_{RES}) предназначен для технического обеспечения и долговременного хранения документов (архивирования) для подразделения «Хозяйство» (U_8): $M_{RES}: d \rightarrow d_{archive}$. Задачами данного микросервиса являются долгосрочное хранение, поиск и восстановление документов Комитета, а также учет его материально-технических ресурсов.

Проверка общей формулы (6)

Для проверки необходимо объединить все описанные компоненты в итоговую формулу (6). Поскольку в тексте упоминались 8 функциональных микросервисов для обеспечения работы восьми подразделений Комитета (U_1-U_8) и два инфраструктурных общесистемных сервиса (M_{API}, M_{AUTH}), математическую модель структуры системы представим в виде кортежа:

$$\mathcal{M} = \langle M_{API}, M_{AUTH}, \{M_{DOC}, M_{FIN}, M_{HR}, M_{EXT}, M_{CTRL}, M_{AI}, M_{RES}\} \rangle. \quad (6')$$

В итоговой модели (6') инфраструктурный слой – M_{API} (шлюз) и M_{AUTH} (безопасность) – обеспечивает сквозное взаимодействие, а функциональный слой – специализированные микросервисы $M_{DOC}, M_{FIN}, M_{HR}, M_{EXT}, M_{CTRL}, M_{AI}, M_{RES}$ – обеспечивает системную работу автоматизируемых подразделений Комитета ($U_1, \dots, U_8$).

Взаимодействие микросервисов в рамках представленной модели осуществляется по принципу событийной архитектуры или через API-шлюз (M_{API}). Процесс обработки данных в системе можно представить следующим образом:

-внешний запрос R_{ext} поступает на M_{API} , где проходит первичную фильтрацию и проверку прав доступа через M_{AUTH} ;

-после авторизации запрос маршрутизируется в соответствующий функциональный микросервис (M_{DOC}, M_{FIN}, M_{HR} и др.) в зависимости от типа задачи и принадлежности к подразделению U_i ;

-при необходимости интеллектуального анализа данных (NER, классификация) управление передается микросервису M_{AI} (нейросетевой модуль), результаты работы которого возвращаются в целевой сервис или сохраняются в архив M_{RES} .

Таким образом, математическая модель (6') обеспечивает модульность и масштабируемость системы, позволяя независимо развивать функциональность каждого подразделения Комитета без нарушения целостности общесистемных функций.

Описание информационных потоков в системе. Информационный обмен между компонентами модели (6') строится на базе единой шины событий или REST-взаимодействия, где потоки данных классифицируются по типам задач:

1. *Поток управления (Control Flow)*: инициируется через M_{API} , проходит обязательную верификацию в M_{AUTH} и передает управляющий сигнал («создать документ», «проверить статус») в функциональные модули (M_{DOC} , M_{FIN} , M_{HR}).

2. *Поток данных (Data Flow)*: включает передачу контента x документов из хранилища M_{RES} в аналитический модуль M_{AI} для извлечения сущностей $y = f_{AI}(x)$ и последующего обновления метаданных m в сервисе документов M_{DOC} .

3. *Сквозной поток мониторинга*: Микросервис M_{CTRL} осуществляет надзор за прохождением документов между подразделениями ($U_i \rightarrow U_j$), фиксируя изменения состояний $s \rightarrow s'$ в журнале событий.

Преимущества такого распределения потоков:

-*изоляция отказов*: сбой в M_{FIN} не блокирует работу кадрового учета в M_{HR} ;

-*независимое масштабирование*: при росте объема документов можно увеличить ресурсы только для M_{AI} , не затрагивая остальные части системы.

Интеллектуальный модуль (AI-модуль BERT)

Механизм внимания (Attention):

$$\mathcal{A}(Q, \mathcal{K}, \mathcal{V}) = \text{softmax}\left(\frac{Q\mathcal{K}^T}{\sqrt{d_k}}\right)\mathcal{V}, \quad (7)$$

где $Q, \mathcal{K}, \mathcal{V}$ – матрицы запросов, ключей и значений, d_k – размерность пространства ключей. Матрицы $Q, \mathcal{K}, \mathcal{V}$ получаются путем умножения входного вектора на обучаемые матрицы весов [22].

Механизм многоголового внимания (Multi-Head Attention):

$$\mathcal{M}(Q, \mathcal{K}, \mathcal{V}) = \text{Concat}(\mathcal{H}_1, \mathcal{H}_2, \dots, \mathcal{H}_h)\mathcal{W}^o, \quad (8)$$

где $\mathcal{H}_i = \mathcal{A}(Q\mathcal{W}_i^Q, \mathcal{K}\mathcal{W}_i^K, \mathcal{V}\mathcal{W}_i^V)$ [4, 10]. Данный механизм обеспечивает моделирование глобальных зависимостей в тексте документа. Добавление индекса i к весам $\mathcal{W}_i^Q, \mathcal{W}_i^K, \mathcal{W}_i^V$ показывает, что у каждой «головы» свои веса.

Метрики эффективности системы

Точность системы (Precision, $\mathcal{P}_r$):

$$\mathcal{P}_r = \frac{\mathcal{T}_p}{\mathcal{T}_p + \mathcal{F}_p}, \quad (9)$$

где $\mathcal{T}_p$ (true positives) – количество документов или сущностей, которые система классифицировала правильно (например, верно определила «Приказ»), $\mathcal{F}_p$ (false positives) – количество «ложных срабатываний» (система приняла обычное письмо за «Приказ»). Точность системы показывает долю релевантных ответов среди всех, что выдала система [10]. Высокая точность означает, что система редко ошибается, выдавая ложный результат.

Полнота системы (Recall, $\mathcal{R}_c$):

$$\mathcal{R}_c = \frac{\mathcal{T}_p}{\mathcal{T}_p + \mathcal{F}_N}, \quad (10)$$

где $\mathcal{F}_N$ (false negatives) – количество документов, которые система пропустила (не распознала «Приказ» и посчитала его обычным текстом). Полнота системы показывает, какую часть из всех существующих в базе документов система смогла найти. Высокая полнота означает, что система находит почти все нужные документы, не пропуская их [10].

$\mathcal{F}_1$ -баллы (F-measure):

$$\mathcal{F}_1 = \frac{2\mathcal{P}_r\mathcal{R}_c}{\mathcal{P}_r + \mathcal{R}_c}. \quad (11)$$

Это среднее гармоническое между точностью и полнотой. В задачах обработки документов Центрального аппарата Комитета важно соблюдать баланс: нельзя только «не ошибаться» (высокий $\mathcal{P}_r$), пропуская при этом половину базы ($\mathcal{R}_c$) и наоборот. $\mathcal{F}_1$ -балл дает единую оценку качества работы модели BERT [10].

Для Комитета Республики Таджикистан эти метрики критически важны при обработке приказов (U_1, U_2) и финансовых документов (U_3), так как любая ошибка ($\mathcal{F}_p$) или пропуск ($\mathcal{F}_N$) в извлечении сумм или ФИО может привести к юридическим неточностям. Для обеспечения надежности документооборота в государственном ведомстве (Комитете) рекомендуется установить следующие пороговые значения метрик для M_{AI} перед запуском системы в эксплуатацию:

- *критический уровень* ($\mathcal{F}_1 \geq 0,85$): Минимально допустимый порог для общей классификации документов и извлечения простых сущностей (даты, типы документов). При значении $\mathcal{F}_1 < 0,85$ система требует обязательной ручной проверки каждого результата специалистом;

- *целевой уровень* ($\mathcal{P}_r \geq 0,92$; $\mathcal{R}_c \geq 0,90$): Уровень, при котором допускается автоматизация процессов в подразделениях «Финансы» (U_3) и «Кадры» (U_4). Высокая точность ($\mathcal{P}_r$) здесь приоритетнее, так как ложное извлечение суммы ($\mathcal{F}_p$) или ФИО критичнее, чем пропуск документа;

- *эталонный уровень* ($\mathcal{F}_1 \geq 0,95$): Показатель, при котором система может работать в режиме «автопилота» с выборочным контролем (менее 5% документов).

Производительность системы

Среднее время обработки документов ($\mathcal{T}_{avg}$):

$$\mathcal{T}_{avg} = \frac{1}{\mathcal{N}} \sum_{j=1}^{\mathcal{N}} t_j, \quad (12)$$

где $\mathcal{N}$ – общее количество обработанных документов (запросов) за расчетный период, t_j – время, затраченное на обработку конкретного j -го документа (от момента поступления в микросервис до выдачи результата). Определяет среднюю задержку (latency) системы. Чем ниже этот показатель, тем быстрее пользователь получает ответ от конкретного сервиса (например, от M_{AI} при классификации) [11].

Пропускная способность (Θ):

$$\Theta = \frac{\mathcal{N}}{\mathcal{T}_{total}}, \quad (13)$$

где Θ – количество документов, которые система способна обработать в единицу времени (например, док/сек), $\mathcal{N}$ – количество выполненных задач, $\mathcal{T}_{total}$ – общее время наблюдения или работы системы. Это главный показатель мощности (throughput). Если Θ меньше интенсивности входящего потока документов, в системе будет расти очередь [11].

Горизонтальное масштабирование ($\Theta(k)$):

$$\Theta(k) \approx k \cdot \Theta(1), \quad (14)$$

где k – количество запущенных экземпляров (реплик) конкретного микросервиса (например, 3 инстанса M_{AI} на разных серверах), $\Theta(1)$ – пропускная способность одного экземпляра, $\Theta(k)$ – итоговая мощность системы при k экземплярах. Формула описывает линейное масштабирование. Она показывает, что в микросервисной

архитектуре мы можем увеличить общую скорость обработки документов в k раз, просто добавив новые серверные мощности.

Коэффициент масштабируемости (Speedup):

$$S(k) = \alpha \cdot \frac{T(1)}{T(k)}, \quad (15)$$

где $S(k)$ – коэффициент ускорения, $T(1)$ – время выполнения определенного объема работы одним сервисным узлом, $T(k)$ – время выполнения того же объема работы при использовании k узлов, α – доля последовательных вычислений.

Формула (15) это закон Амдала в упрощенном виде [1]. Он показывает реальную эффективность распараллеливания. В идеальных условиях $S(k) = k$, но на практике значение всегда чуть меньше из-за затрат на сетевое взаимодействие между микросервисами и работу API-шлюза M_{API} . Коэффициент α в формуле (15) введен в связи с тем, что из-за сетевых задержек и накладных расходов на оркестрацию идеальное линейное ускорение $\Theta(k) \approx k \cdot \Theta(1)$ в реальных условиях недостижимо.

Бизнес-логика и адаптация

Модель адаптирована под регламенты Центрального аппарата Комитета по начальному и среднему профессиональному образованию при Правительстве Республики Таджикистан:

Автоматизация процессов:

Управление образования (U_1, U_2):

- классификация приказов;
- извлечение учебных данных;
- контроль сроков.

Финансы (U_3):

$$\text{Amount} = f_{AI}(x):$$

- автоматическое извлечение сумм, счетов.

Кадры (U_4):

- извлечение ФИО, должностей;
- анализ приказов.

Международные отношения (U_5): реализует функцию кросс-языкового NER (таджикский, русский, английский) для обработки межгосударственных соглашений:

- многоязычная обработка (TJ+RU+ENG);
- перевод + NER.

Правовой отдел (U_6):

- контроль исполнения;
- анализ юридических формулировок.

IT сектор (U_7):

- управление AI сервисом;
- обучение модели.

Хозяйственный отдел (U_8):

- учет ресурсов;
- автоматизация заявок.

Гибридная модель отказоустойчивости (Fallback-механизм)

$$f(x) = \begin{cases} f_{AI}(x), & \text{если AI доступен} \\ f_{rule}(x), & \text{если AI недоступен.} \end{cases} \quad (16)$$

При снижении уверенности f_{AI} ниже порога $\rho < 0,7$ или технической недоступности GPU-мощностей, система переключается на предиктивный анализ по правилам f_{rule} .

Итоговая система (интегральная модель)

Накопления очереди документов описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{dD}{dt} = \lambda_{in} - \lambda_{proc}(\mathcal{M}, \mathcal{A}), \quad (17)$$

где λ_{in} – интенсивность входящего потока, λ_{proc} – скорость обработки документов. Изменение объема необработанных документов dD/dt зависит от баланса входящего

трафика λ_{in} и производительности микросервисной архитектуры λ_{proc} . Условием стабильности системы является $\lambda_{proc} > \lambda_{in}$, иначе очередь D будет расти бесконечно.

Результаты исследования

Математическая модель интеллектуальной системы документооборота, базирующаяся на микросервисной архитектуре и алгоритмах BERT адаптированной под структуру Центрального аппарата Комитета по начальному и среднему профессиональному образованию, позволила получить следующие результаты:

- готовая архитектура под реальный госорган (Комитет по начальному и среднему профессиональному образованию);
- формальная математическая модель интеллектуальной системы документооборота Комитета;
- связь системы документооборота Комитета с интеллектуальной системой трансформерных моделей BERT;
- связь интеллектуальной системы документооборота Центрального аппарата Комитета с его подразделениями.

Обсуждение результатов

Для промышленной эксплуатации системы в подразделениях Центрального аппарата Комитета установлены следующие пороговые значения эффективности: интегральный показатель $\mathcal{F}_1$ -балла должен составлять не менее 0,88. При этом для финансовых (U_3) и кадровых (U_4) документов приоритетной является точность ($\mathcal{P}_r \geq 0,92$), что минимизирует риск внесения некорректных данных в государственные реестры. Если текущий показатель модели опускается ниже порогового, активируется гибридная модель отказоустойчивости (16) с переходом на алгоритмы проверки по жестким правилам (f_{rule}).

Внедрение интеллектуальной микросервисной системы в деятельность Комитета позволяет достичь следующих экономических и операционных показателей:

1. Сокращение времени обработки документов на 60-70% за счет автоматического извлечения сущностей (NER) и классификации, что минимизирует ручной ввод данных.
2. Повышение достоверности данных до 92-95% (согласно целевым метрикам $\mathcal{P}_r$ и $\mathcal{F}_1$), что снижает риск юридических и финансовых ошибок в подразделениях U_3 и U_4 .
3. Снижение операционных затрат на поддержку IT-инфраструктуры благодаря горизонтальному масштабированию (14) и использованию свободных вычислительных мощностей для работы модели BERT [11; 14].
4. Оптимизация контроля исполнения: сокращение цикла согласования документов между подразделениями ($U_i \rightarrow U_j$), на 40% за счет сквозного мониторинга в микросервисе M_{CTRL} .

Заключение

В результате проведенного исследования разработана математическая модель интеллектуальной системы документооборота под структуре конкретного государственного учреждения, основанная на микросервисной архитектуре и трансформерных моделях BERT. Предложенный подход обеспечивает:

- формализацию процессов обработки документов;
- интеграцию методов машинного обучения в распределённую архитектуру [4; 8];
- адаптацию под структуру любого конкретного государственного органа;
- повышение точности извлечения данных по сравнению с rule-based подходами.

Результаты исследования подтверждают эффективность использования микросервисной архитектуры в сочетании с современными методами обработки естественного языка. Практическая значимость работы заключается в возможности внедрения разработанной системы в государственных структурах Республики Таджикистан.

Рецензент: Гафуров М.Х. – к.т.н., доцент кафедры автоматизирование технологических процессов и производства ТПУ имени академика М.С. Осими.

Литература

1. Amdahl, G. M. Validity of the Single Processor Approach to Achieving Large Scale Computing Capabilities[Electronic resource] / G.M. Amdahl // [https:// www3.cs.stonybrook.edu/~rezaul/Spring-2012/CSE613/reading/Amdahl-1967.pdf](https://www3.cs.stonybrook.edu/~rezaul/Spring-2012/CSE613/reading/Amdahl-1967.pdf) (Date of the application: 15.03.2026).
2. Chen, T. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System [Text] / T. Chen, C. Guestrin // KDD. – 2016. – P. 785-794.

3. *Chiticariu, L.* Rule-based information extraction [Text] / L. Chiticariu, Y. Li, F. Reiss // Proceedings of EMNLP 2013. – 2013. – P. 827-832.
4. *Devlin, J.* BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding [Text] / J. Devlin, M. W. Chang, K. Lee, K. Toutanova // NAACL-HLT. – 2019. – P. 4171-4186.
5. *Dragoni, N.* Microservices: Yesterday, Today, and Tomorrow [Text] / N. Dragoni, S. Giallorenzo, A.L. Lafuente, M. Mazzara, F. Montesi, R. Mustfin, L. Safina // Present and Ulterior Software Engineering. – Springer, 2017. – P. 195-216.
6. *Earl, T.* Service-Oriented Architecture: Concepts, Technologies, and Design [Text] / T. Earl. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 2005. – 760 p.
7. *Fowler, M.* Microservices: A Definition of This New Architectural Term [Electronic resource] / M. Fowler, J. Lewis // URL: <https://martinfowler.com/microservices/> (Date of the application: 15.03.2026).
8. *Goodfellow, I.* Deep Learning [Electronic resource] / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. – Cambridge: MIT Press, 2016. – 775 p. // <https://mitpress.mit.edu/9780262035613/deep-learning/> (Date of the application: 23.03.2026).
9. *Huang, Z.* Bidirectional LSTM-CRF Models for Sequence Labeling [Electronic resource] / Z. Huang, W. Xu, K. Yu // <https://arxiv.org/abs/1508.01991> (Date of the application: 15.03.2026).
10. *Jurafsky, D.* Speech and Language Processing (3rd ed.) [Electronic resource] / D. Jurafsky, J.H. Martin. // <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3970727> (Date of the application: 23.03.2026).
11. *Kleppmann, M.* Designing Data-Intensive Applications [Electronic resource] / M. Kleppmann. – O'Reilly Media, 2017. // <https://www.oreilly.com/library/view/designing-data-intensive-applications/9781491903063/> (Date of the application: 23.03.2026).
12. *Lafferty, J.* Conditional Random Fields: Probabilistic Models for Segmenting and Labeling Sequential Data / J. Lafferty, A. McCallum, F. Pereira // Proceedings of ICML. – 2001. – P. 282-289.
13. *Mikolov, T.* Efficient estimation of word representations in vector space [Electronic resource] / T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado, J. Dean // <https://arxiv.org/abs/1301.3781> (Date of the application: 15.03.2026).
14. *Newman, S.* Building Microservices (2nd ed.) [Electronic resource] / S. Newman. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2021. – 617 p. // <https://martinfowler.com/articles/microservices.html> (Date of the application: 15.03.2026).
15. *Pennington, J.* GloVe: Global vectors for word representations [Text] / J. Pennington, R. Socher, K. Manning // Proceedings of EMNLP. – 2014. – P. 1532-1543.
16. *Pires, T.* How multilingual is multilingual BERT? [Text] / T. Pires, E. Schlinger, D. Garrett // ACL. – 2019. – pp. 4996-5001.
17. *Ratner, A.* Snorkel: Fast Training Data Generation [Text] / A. Ratner, S. Bach, H. Ehrenberg et al. // VLDB. – 2017. – Vol. 11. – No. 3. – P. 269-282.
18. *Richardson, K.* Microservices: Development and Refactoring Patterns [Text] / K. Richardson. – Shelter Island: Manning Publications, 2018. – 520 p.
19. *Sang, E.F.* Introduction to the CoNLL-2003 Collaborative Problem [Text] / E.F. Sang, F. De Meulder // Proceedings of CoNLL-2003. – 2003. – P. 142-147.
20. *Sennrich, R.* Neural Machine Translation of Rare Words with Subword Units [Electronic resource] / R. Sennrich, B. Haddow, A. Birch. – ACL, 2016. // <https://aclanthology.org/P16-1162/> (Date of the application: 15.03.2026).
21. *Tanenbaum, A. S.* Distributed Systems (3rd ed.) [Electronic resource] / A.S. Tanenbaum, M. Van Steen. – Pearson, 2017. // <https://www.distributed-systems.net/index.php/books/ds3/> (Date of the application: 23.03.2026).
22. *Vaswani, A.* Attention Is All You Need // Advances in Neural Information Processing Systems [Text] / A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A. N. Gomez, Ł. Kaiser, I. Polosukhin // NeurIPS. – 2017. – Vol. 30. – P. 5998-6008.
23. *Xu, Y.* LayoutLM: Text and Layout Pretraining [Text] / Y. Xu, M. Li, L. Cui, et al. // KDD. – 2020. – P. 1192-1200.
24. *Ёров, М. Р.* Татбиқи системаи хизматрасонии оммавӣ дар қоркарди дархостҳои онлайнӣ [Матн] / М.Р. Ёров, Ф.С. Комилиён // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Баҳши илмҳои табиӣ. – 2023. – № 2. – С. 42-53. – EDN: QTPBDV.
25. *Ёров, М. Р.* Таъмини амнияти иттилоотии системаҳои амалиётӣ бо мақсади истифодаи пурсамари онҳо [Матн] / М.Р. Ёров, Ф.С. Комилиён // Паёми политехникӣ. Баҳши интеллект, инноватсия, инвестиция. – 2022. – № 3 (59). – С. 58-63. – EDN: UGWHWO.
26. *Комилиён, Ф. С.* Амсиласозии компютерии системаи хизматрасонии шабакавии дар вақти дискретӣ бо тартиби инверсионӣ ва афзалияти тасодуфӣ амалкунандаи ПД КОА [Матн] / Ф.С. Комилиён, М.Р. Ёров // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Баҳши илмҳои табиӣ. – 2020. – № 2. – С. 68-79. – EDN: AJPQAI.
27. *Комилиён, Ф. С.* Внедрение микросервисной архитектуры для оптимизации распределения информационных ресурсов [Текст] / Ф.С. Комилиён, М.Ф. Рахимов // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. – 2024. – № 2. – С. 71-79. – EDN: UZJNVI.

28. *Комилиён, Ф. С.* Микросервисная архитектура: от монолита к гибким распределенным системам [Текст] / Ф.С. Комилиён, М.Ф. Рахимов // Доклады Национальной академии наук Таджикистана. – 2023. – Т. 66. – № 11-12. – С. 659-667. – EDN: LSVHDL.

29. *Комилиён, Ф. С.* Микросервисная оптимизация распределения информационных ресурсов с помощью четко определенного «API» [Текст] / Ф.С. Комилиён, М.Ф. Рахимов // Современные проблемы математического моделирования и её применения. Материалы XII международной научно-практической конференции, посвященной «2020-2040 годы – 20-летия изучения и развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования» и «75-летию Таджикского национального университета». – Душанбе, 2024. – С. 28-32. – EDN: PZLKJR.

30. *Рахимов, М. Ф.* Анализ характеристик монолитных и микросервисных архитектур [Текст] / М.Ф. Рахимов, Ф.С. Комилиён // Известия Национальной академии наук Таджикистана. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. – 2023. – № 4 (193). – С. 44-54. – EDN: GHUYHC.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

TJ	RU	EN
Комилиён Файзали Саъдулло	Комилиён Файзали Саъдулло	Komiliyon Fayzali Sa'dullo
доктори илмҳои физикаю математика, профессор	д.ф.-м.н., профессор	Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik national university
E-mail: komiliyon.fayzali@gmail.com		
TJ	RU	EN
Рахимов Манучеҳр Фарҳодович	Рахимов Манучеҳр Фарҳодович	Rahimov Manuchehr Farhodovich
Докторанти PhD	PhD-докторант	PhD-doctoral student
Институти математикаи ба номи А. Ҷӯраеви Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон	Института математики им А. Джураева Национальной академии наук Таджикистана	Institute of Mathematics named after A. Juraev of the National Academy of Sciences of Tajikistan
E-mail: manucher5160@gmail.com		