

Проектирование адаптивной системы электронного документооборота на основе нейросетевой архитектуры

А.Д. Обухов

Аннотация—В статье рассмотрены вопросы автоматизации проектирования адаптивных систем электронного документооборота (СЭД). Автоматизация процессов анализа, обработки и передачи информации при разработке информационных систем позволит снизить сложность реализации, временные и материальные затраты, высвободить ресурсы разработчиков на решение более сложных и творческих задач. Одним из способов автоматизации данных процессов является использование методов машинного обучения, однако, без формализованного методологического и математического аппарата обеспечить комплексное решение поставленной задачи невозможно. В работе изложена апробация нейросетевой архитектуры, включающей набор подходов и методов на основе нейросетевых технологий, на примере предметной области систем электронного документооборота. Представлена структура адаптивной СЭД, реализованная в соответствии с данной архитектурой. В ходе экспериментальных исследований реализовано две тестовые СЭД: классическая, разработанная по методологии RAD и шаблону MVC, и адаптивная, проектирование которой осуществлялось в рамках нейросетевой архитектуры. В результате достигнуто снижение стоимости (на 24.7%) и сложности (на 32.5%) реализации СЭД, повышена адаптивность системы (на 13.6%). Также наблюдается улучшение ее качества и прирост производительности. Полученные результаты подтверждают эффективность предлагаемых подходов и инструментов.

Ключевые слова—нейросетевая архитектура, нейросетевые технологии, автоматизация проектирования, системы электронного документооборота.

I. ВВЕДЕНИЕ

Актуальной задачей при проектировании современных информационных систем является автоматизация типовых процессов анализа, обработки и передачи информации. Это позволяет снизить время и стоимость разработки, ускорить модернизацию и расширение функциональности систем.

Одним из перспективных направлений решения данной задачи является использование нейросетевых технологий. Однако, несмотря на успешное применение нейронных сетей в различных предметных областях

(обработке текста [1], изображений [2], видео [3], анализе больших данных [4], принятии решений [5], прогнозировании [6] и регрессии [7]), без строго сформулированного методологического и математического аппарата невозможно осуществить комплексный подход к автоматизации процесса проектирования информационных систем.

В данной работе рассматривается решение задачи проектирования адаптивной системы электронного документооборота (СЭД) на основе разработанной ранее концепции нейросетевой архитектуры [8]. Данная архитектура направлена на замену классических программных блоков, реализующих алгоритмы анализа или обработки данных, новыми программными решениями, основанными на применении нейросетевых технологий.

В рамках предлагаемой нейросетевой архитектуры реализуется методология автоматизированного проектирования адаптивных информационных систем, основанная на концепции RAD, но дополненная набором программных методов, нейросетевых технологий и компонентов для решения задач автоматизации процессов проектирования, анализа, обработки данных. Целью данного исследования является апробация нейросетевой архитектуры на примере процесса проектирования адаптивной СЭД, в ходе которой необходимо осуществить формализацию структуры системы, ее оптимизацию и синтез, оценить полученное решение в сравнении с классическими подходами к проектированию.

II. НЕЙРОСЕТЕВАЯ АРХИТЕКТУРА АДАПТИВНОЙ СЭД

Формализуем структурную модель адаптивной СЭД, выполненную в соответствии с основными сущностями нейросетевой архитектуры (рис. 1). В состав структурной модели входят основные модули адаптивной СЭД и связи между, реализуемые нейросетевыми каналами данных (NNDC).

При реализации программного обеспечения адаптивной СЭД необходимо использовать соотношения и закономерности теоретико-множественной модели процессов, протекающих в предметной области организации, для которой разрабатывается система.

Статья получена 29 декабря 2020. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-74.2020.9

Обухов Артем Дмитриевич, Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Российская Федерация (e-mail: obuhov.art@gmail.com).

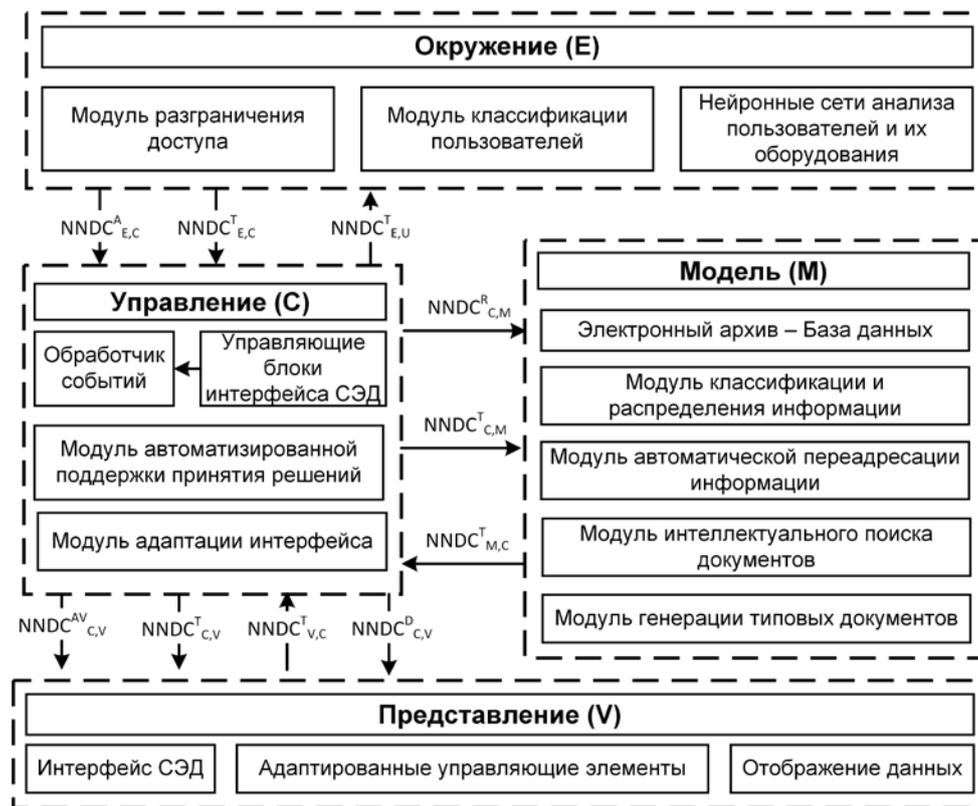


Рис 1. Нейросетевая архитектура адаптивной СЭД

Далее осуществим формализацию математической модели MM_{EDMS} адаптивной СЭД в нотации теории множеств:

$$MM_{EDMS} = (NNA, PRM, R), \quad (1)$$

где NNA - нейросетевая архитектура модулей адаптивной СЭД, включающая множество компонентов и связей между ними;

PRM - параметры СЭД, отвечающие за ее функционирование;

R - множество оценок эффективности СЭД.

Структура адаптивной СЭД в формализованном виде описывается следующими соотношениями и взаимосвязями между элементами:

$$NNA = (E, C, M, V). \quad (2)$$

Сущность Окружение E в адаптивной СЭД включает модули по анализу и обработке информации о пользователях. Модуль разграничения доступа пользователей к информации реализуется на основе существующих моделей разграничения доступа к информации. Модуль классификации пользователей реализует функции определения роли пользователя в СЭД на основе нейросетевых технологий [9]. Окружение связано с другими сущностями нейросетевыми каналами данных: для передачи ($NNDC^T$) и адаптации ($NNDC^A$).

Управление C содержит два программных блока (управляющие блоки и обработчик событий), функционирующих по классическим методам реализации информационных систем. Остальные три блока реализуется посредством применения нейронных сетей. Модуль автоматизированной поддержки принятия решений осуществляет решение задач

определения сходства документов, а также перехода к следующей операции для пользователя (для обеспечения автоматической навигации). Модуль адаптации интерфейса функционирует на базе нейросетевого метода адаптации информационных систем и реализует возможность автоматической настройки параметров СЭД под особенности пользователей и технические характеристики их терминалов [9]. Управление связано с другими сущностями множеством связей для реализации следующих операций: передачи ($NNDC^T$), адаптации ($NNDC^A$ и $NNDC^{AV}$), запроса ($NNDC^R$), отображения ($NNDC^D$).

Модель M реализует основные блоки СЭД по хранению и обработке информации. Включает электронный архив для хранения документов и база данных. Модуль классификации и распределения информации решает задачи по распознаванию типов документов и информации, определению их категории и перемещению в нужные категории. Модуль автоматической переадресации используется для передачи информации между пользователями, а также определения нагрузки на пользователей и распределения документов для последующей обработки. Модуль интеллектуального поиска осуществляет поиск документов и информации в СЭД. Взаимодействует с Управлением посредством каналов передачи данных ($NNDC^T$ и $NNDC^R$).

Представление V содержит основные модули, реализует непосредственно интерфейс СЭД, необходимую визуализацию управляющих элементов и поля форм для ввода информации, визуализацию данных. Интерфейс автоматически персонализируется и

подстраивается под тип пользователя с помощью нейросетевого канала адаптации ($NNDC^{AV}$). Подробно данный механизм рассмотрен ранее в работе [9]. Также принимает информацию от Управления по каналам $NNDC^T$ и $NNDC^D$.

Параметры регулирования $PRM = \{prm_i\}$ включают множество всех параметров модулей и компонентов СЭД, включая параметры модуля адаптации. Параметры prm_i обозначают атрибуты программных методов и функций, настройки компонентов, являются ограничениями и граничными условиями для процессов и операций.

Комплексный критерий оптимальности R включает несколько компонентов, изложенных ниже.

Экономические затраты R_V на разработку СЭД складываются из стоимости необходимого аппаратного обеспечения серверного и клиентского оборудования, оплаты работы разработчиков, тестировщиков, экспертов и аналитиков, а также дополнительных расходов (лицензирование, НИР, испытания и так далее) [10]:

$$R_V = V_{hw} + V_{sw} + V_{pers} + V_{data} + V_{rd}, \quad (3)$$

где V_{hw} – затраты на серверное оборудование и терминалы;

V_{sw} – затраты на программное обеспечение;

V_{pers} – заработная плата разработчиков СЭД;

V_{data} – стоимость работы с информацией (хранение, обработка и передача);

V_{rd} – стоимость НИР, необходимых для реализации СЭД.

Сложность программного обеспечения R_D , входящего в состав СЭД, оказывает влияние на трудоемкость процесса разработки, а также на вероятность возникновения ошибок в процессе функционирования и модернизации системы:

$$R_D = \sum_{m=1}^M DF_m, \quad (4)$$

где DF_m – значение комплексной метрики сложности m -ого программного метода, определяемая как сумма нормированных метрик:

$$DF_m = \lambda_1 d_m^{COCOMO} + \lambda_2 d_m^J + \lambda_3 d_m^{HAL} + \lambda_4 d_m^{CC}, \quad (5)$$

где d_m^{COCOMO} – оценка по методике СОСОМО;

d_m^J – оценка по методике Джилба;

d_m^{HAL} – оценка по методике Холстеда;

d_m^{CC} – цикломатическая сложность программного кода;

λ_i – весовые коэффициенты, приводящие значения DF_m к диапазону [0;1] [11].

Оценка адаптивности R_A представляет собой линейную свертку комплекса критериев адаптивности [12] и эргономических критериев [13]:

$$R_A = \sum_{i=1}^6 \lambda_i ra_i + \sum_{j=1}^{18} \lambda_j re_j, \quad (6)$$

где λ_i, λ_j – весовые коэффициенты i -го критерия адаптивности и j -го эргономического критерия соответственно;

ra_i – критерии адаптивности [12].

re_j – экспертная оценка по 18 эргономическим критериям [13].

Сумма всех коэффициентов λ_i и λ_j равна 1. Значения критериев адаптивности и эргономических критериев нормированы.

Качество работы R_Q определяется экспертной оценкой по двум категориям метрик – количественным (QN) и качественными (QLT):

$$R_Q = \alpha \sum \omega_i qn_i + \beta \sum \omega_j qlt_j, \quad (7)$$

где α, β – весовые коэффициенты, определяющие приоритет количественных метрик над качественными;

ω_i, ω_j – весовые коэффициенты количественных и качественных метрик соответственно;

$qn_i \in QN$ – расчетное значение количественных метрик надежности, безотказности, долговечности, ремонтпригодности, достоверности, эффективности [14, 15];

$qlt_j \in QLT$ – экспертная оценка качественных метрик: целостность, сложность, структурированность, адаптивность, лабильность, интегрируемость, делимость, валидность [16].

Производительность R_p будет складываться из оценок производительности программного P_{sw} и аппаратного P_{hw} обеспечения системы:

$$R_p = \frac{P_{sw} + P_{hw}}{2}. \quad (8)$$

Для оценки производительности программного обеспечения P_{sw} используем метрику на основе Mpdex [17]. Для оценки производительности аппаратного обеспечения P_{hw} СЭД используем линейную свертку метрик: времени обработки запроса для получения информации, объема оперативной памяти, пропускной способности сети, пропускной способности накопителя.

III. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА АДАПТИВНОЙ СЭД

Сформулируем задачу проектирования адаптивной СЭД в следующем виде. Необходимо определить такие структуру NNA^* и параметры PRM^* СЭД, при которых целевая функция R_V оптимизации экономических затрат достигает экстремума:

$$\{NNA^*, PRM^*\} = \arg \min_{NNA, PRM} (R_V), \quad (9)$$

$$R_V = V_{hw} + V_{sw} + V_{pers} + V_{data} + V_{rd},$$

при выполнении следующих ограничений:

$$R_D \leq R_D^{MAX}, \quad (10)$$

$$R_A \geq R_A^{MIN}, \quad (11)$$

$$R_p \geq R_p^{MIN}, \quad (12)$$

$$R_Q \geq R_Q^{MIN}, \quad (13)$$

где R_D^{MAX} - оценка сложности программного обеспечения, реализованного на основе алгоритмического подхода;

R_A^{MIN} - минимальная оценка адаптивности либо оценка используемого ранее программного обеспечения;

R_P^{MIN} - минимально возможная производительность СЭД;

R_Q^{MIN} - минимально допустимая оценка качества программного обеспечения либо оценка используемой ранее системы.

IV. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ СЭД НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ АРХИТЕКТУРЫ

В качестве примера будем рассматривать адаптивную СЭД конструкторской документации. В качестве эталона будем использовать СЭД, реализованную в соответствии с классической RAD методологией. Для классической реализации СЭД будет использоваться структура на основе распространённого шаблона проектирования MVC (рис. 2).

Осуществим расчёт основных метрик комплексного критерия оптимальности для классической и адаптивной СЭД.

Рассмотрим расчет экономических затрат R_V на реализацию СЭД (табл. 1). Затраты на аппаратное и программное обеспечение примем равными. Из-за использования нейронных сетей для анализа и обработки данных затраты на НИР, а также на обработку и передачу информации сокращаются. Применение нейросетевой архитектуры также сократило сложность программного обеспечения СЭД, что повлияло на затраты на заработную плату разработчиков.

Табл. 1 Сравнение экономических затрат на реализацию СЭД

Компонент экономического критерия	Классическая СЭД	Адаптивная СЭД
Затраты на аппаратное обеспечение	214461	214461
Затраты на программное обеспечение	0	0
Затраты на зарплату персонала	482478	386562
Стоимость хранения информации	1500	1500
Стоимость обработки информации	33333	20000
Стоимость передачи информации	8204	5650
Затраты на проведение НИР	218400	93600
Общие затраты	958377	721774

Расчет сложности реализации программного обеспечения классической и адаптивной СЭД осуществлялся по следующим метрикам: СОСОМО, Джилба, Холстеда и цикломатической сложности (усредненной для каждого программного блока). Результаты измерений приведены в табл. 2. Так как при нейросетевой архитектуре алгоритмические блоки сокращаются либо заменяются на использование нейронных сетей, то наблюдается значительное сокращение сложности программной реализации. Это также приводит к снижению затрат на разработку СЭД.

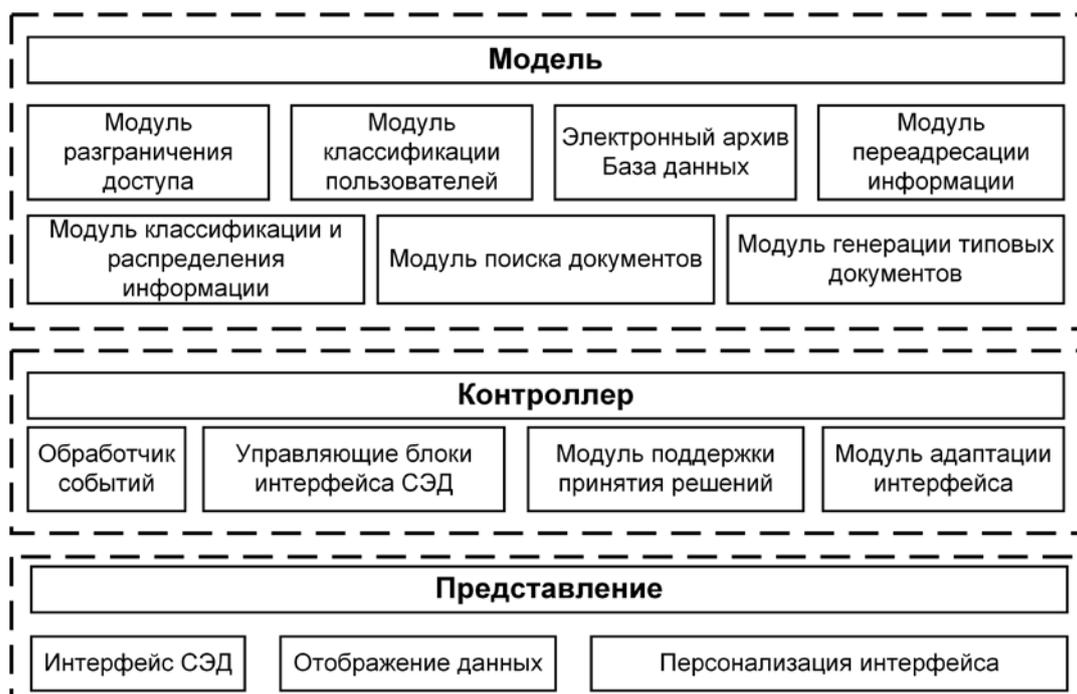


Рис 2. Архитектура классической СЭД на базе шаблона MVC

Табл. 2 Оценка сложности программной реализации СЭД

Метрика	Классическая СЭД	Адаптивная СЭД
СОСОМО	0.1753	0.098
Джилба	0.25	0.22
Холстеда	0.61	0.49
Цикломатическая сложность	0.53	0.25
Общая оценка сложности	0.391	0.264

Расчет адаптивности R_A для СЭД осуществлялся по набору критериев адаптивности и эргономических критериев [12-13] (табл. 3). Экспертная оценка показала значительный рост по некоторым метрикам адаптивности за счет реализации новых функций в СЭД (например, автоматической адаптации интерфейса системы под потребности пользователя).

Табл. 3 Оценка адаптивности СЭД

Критерий адаптивности	Классическая СЭД	Адаптивная СЭД
Время доступа к системе	0.9	0.9
Функциональность	0.9	0.9
Гибкость	0.5	0.8
Стабильность	0.9	0.9
Доступность	0.7	0.9
Качество поддержки	0.8	0.8
Доступность руководства пользователя	0.7	0.9
Загруженность интерфейса	0.8	0.9
Контроль пользователя над операциями	0.7	0.9
Адаптивность	0.4	0.8
Управление ошибками	0.7	0.9
Согласованность	0.7	0.9
Значение идентификаторов (кодовых имен)	0.8	0.8
Совместимость	0.7	0.8
Общая оценка адаптивности	0.728	0.864

Качество работы классической СЭД R_Q определялось также экспертной оценкой по набору метрик (табл. 4). Наблюдается некоторое улучшение метрик при применении нейросетевого подхода.

Наконец, осуществим расчёт производительности R_p СЭД.

Для классической реализации производительность программного обеспечения СЭД составила: $P_{sw} = 0.93$, аппаратного: $P_{hw} = 0.9$. В итоге $R_p = 0.915$.

Табл. 4 Оценка качества СЭД

Критерий качества	Классическая СЭД	Адаптивная СЭД
Надежность	0.9	0.9
Безотказность	0.8	0.9
Долговечность	0.9	0.9
Ремонтопригодность	0.9	0.9
Достоверность	0.9	0.9
Эффективность	0.7	0.8
Целостность	1	1
Сложность	0.8	0.9
Структурированность	0.8	0.8
Адаптивность	0.5	0.9
Лабильность	0.5	0.8
Интегрируемость	0.8	0.8
Делимость	0.7	0.8
Валидность	0.9	0.9
Общая оценка качества	0.793	0.871

Для адаптивной СЭД имеет аналогичную производительность аппаратного обеспечения $P_{hw} = 0.9$. Производительность программного обеспечения адаптивной СЭД составила $P_{sw} = 0.95$. Прирост получен за счет более быстрого решения ряда задач анализа и обработки информации. В итоге для адаптивной СЭД $R_p = 0.925$.

На рис. 3 представлен полученный положительный эффект при переходе от классического подхода разработки СЭД к использованию нейросетевой архитектуры.

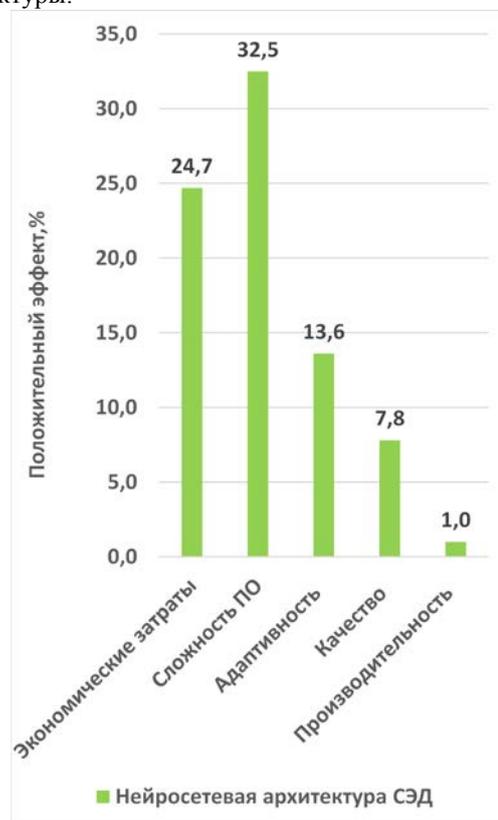


Рис. 3. Положительный эффект от перехода на

нейросетевую архитектуру СЭД

Таким образом, в ходе решения задачи структурно-параметрического синтеза получены следующие результаты, доказывающие эффективность применения разработанной методологии проектирования СЭД: снижение экономических затрат при реализации адаптивной СЭД (тем самым достигается минимизация целевой функции), а также улучшение всех остальных метрик (что обеспечивает выполнение ограничений в поставленной задаче). Следовательно, задача структурно-параметрического синтеза успешно решена.

Пример функционирования СЭД конструкторской документации для различных пользователей, подтверждающий ее способности к адаптации под особенности программного и аппаратного обеспечения, представлен на рис. 4.

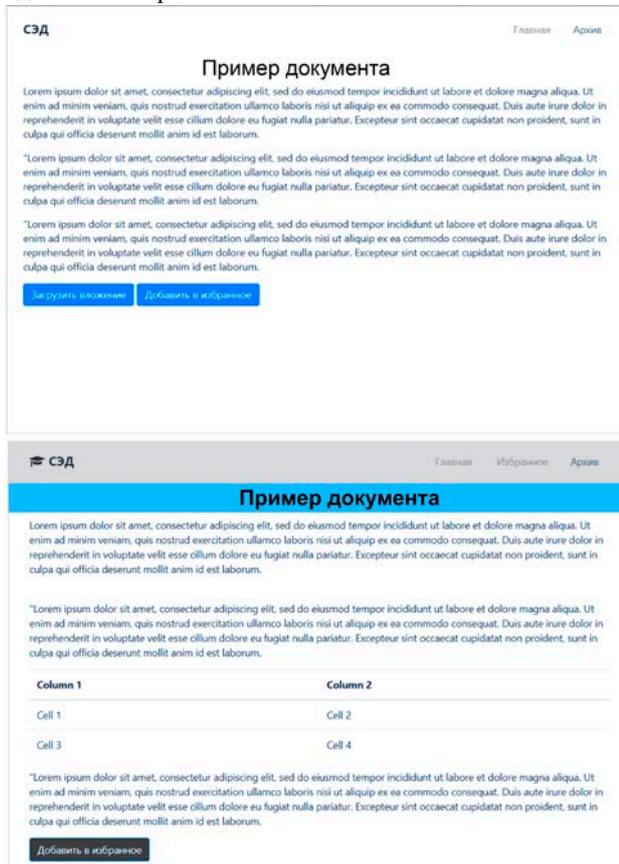


Рис. 4. Пример работы адаптивной СЭД.

Данный пример отражает два варианта интерфейса в зависимости от характеристик оборудования пользователя, его личных данных, роли в системе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассматривается применение нейросетевой архитектуры для автоматизации процесса проектирования СЭД. Разработана нейросетевая архитектура адаптивной СЭД, представлено описание сущностей и элементов с учетом специфики предметной области, формализована математическая модель адаптивной СЭД, выполненная с применением теории множеств. Поставлена задача структурно-параметрического синтеза адаптивной СЭД.

Для проверки эффективности нейросетевой архитектуры используется модифицированная методология RAD, включающая применение нейросетевых методов анализа, обработки и передачи информации. На ее основе осуществлено решение поставленной задачи структурно-параметрического синтеза адаптивной СЭД. Приводится расчет метрик комплексного критерия оптимальности для двух СЭД: классической, разработанной по методологии RAD и шаблону MVC, и адаптивной, проектирование которой осуществлялось в соответствии с предлагаемой методологией и нейросетевой архитектурой. В результате достигнуто снижение стоимости (на 24.7%) и сложности (на 32.5%) реализации СЭД, повышена адаптивность системы (на 13.6%). Также наблюдается улучшение ее качества и незначительный прирост производительности. Полученные результаты подтверждают эффективность предлагаемых подходов и инструментов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-74.2020.9.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Немчинова Е. А., Плотникова Н. П., Федосин С. А. Подготовка и обработка нормативно-справочной текстовой информации для классификации с помощью искусственных нейронных сетей // Нелинейный мир. 2019. Т. 17. №. 2. С. 27-33.
- [2] Соломенцев Я. К., Чочиа П. А. Применение нейронных сетей для диагностики вида и параметров искажений изображения // Информационные процессы. 2020. Т. 20. №. 2. С. 95-103.
- [3] Винокуров А. В. Параметрический метод обработки видеoinформации на основе применения нейронных сетей как механизм адаптации размера изображений к пропускной способности канала связи // Промышленные АСУ и контроллеры. 2017. №. 6. С. 36-39.
- [4] Кислицын Е. В., Панова М. В., Жернаков Р. С. Принципы применения нейросетевых технологий при анализе больших данных // Перспективы науки. 2017. №. 9. С. 7-10.
- [5] Витенбург Е. А. Архитектура программного комплекса интеллектуальной поддержки принятия решений при проектировании системы защиты информационной системы предприятия // Вестник кибернетики. 2019. №. 4. С. 46-51.
- [6] Гайнуллин Р. Н., Рахал Я., Ризаев И.С., Шарнин Л.М. Прогнозирование бизнес-процессов на основе нейронных сетей // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 20. №. 3. С. 121-124.
- [7] Данилов А. Д., Мугатина В. М. Решение задачи оптимизации регрессионного тестирования с использованием нейросетевого подхода // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2020. Т. 8. №. 1. С. 35-36.
- [8] Обухов А.Д., Краснянский М.Н. Нейросетевая архитектура информационных систем // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. 2019. Т. 29. Вып. 3. С. 438-455.
- [9] Obukhov A., Krasnyanskiy M., Nikolyyukin M. Algorithm of adaptation of electronic document management system based on machine learning technology // Progress in Artificial Intelligence. 2020. P. 1-17.
- [10] Krasnyanskiy M., Ostroukh A., Karpushkin S., Obukhov A. Formulation of the Problem of Structural and Parametric Synthesis of Electronic Document Management System of Research and Education Institution // Global Journal of Pure and Applied Mathematics. 2016. Т. 12. №. 3. P. 2395-2409.
- [11] Стефанова Н. А., Курбангелдыев Д. Оценка стоимости разработки программного обеспечения // Актуальные вопросы современной экономики. 2020. №. 1. С. 67-72.

- [12] Яковлев Ю. С., Курзанцева Л. И. О развитии адаптивного человеко-машинного интерфейса и критериях его оценки в учебных системах //Образовательные технологии и общество. 2013. Т. 16. №. 1. С. 547-563.
- [13] Bastien J. M. C., Scapin D. L. Evaluating a user interface with ergonomic criteria // International Journal of Human -Computer Interaction, 1995. Т. 7. №. 2. Р. 105-121.
- [14] Липаев В. В. Качество крупномасштабных программных средств. Directmedia, 2015. 231 с.
- [15] Бурдыко Т. Г., Бушмелева К. И. Показатели качества программных средств //Вестник кибернетики. 2019. №. 1. С. 60-66.
- [16] Ажмухамедов И. М., Князева О. М. Комплексный критерий оценки качества информационных систем //Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2017. №. 4-6. С. 14-17.
- [17] Буланов В. А., Фомичёва О. Е. Современные проблемы оценки производительности информационных систем //Промышленные АСУ и контроллеры. 2020. №. 1. С. 49-54.

Обухов Артем Дмитриевич, к.т.н., доцент кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений» ФГБОУ ВО ТГТУ, Тамбов, Россия; ORCID 0000-0002-3450-5213 (e-mail: obuhov.art@gmail.com).

Designing an Adaptive Electronic Document Management System Based on Neural Network Architecture

A. D. Obukhov

Abstract—The article deals with the issues of design automation of adaptive electronic document management systems. Automation of the processes of analysis, processing and transmission of information in the development of information systems will reduce the complexity of implementation, time and material costs, free up the resources of developers to solve more complex and creative problems. One of the ways to automate these processes is the use of machine learning methods, however, without a formalized methodological and mathematical apparatus, it is impossible to provide a comprehensive solution to the problem. The article describes the approbation of a neural network architecture, including a set of approaches and methods based on neural network technologies, using the example of the subject area of electronic document management systems (EDMS). The structure of an adaptive EDMS, implemented in accordance with this architecture, is presented. In the course of experimental research, two test EDMS were implemented: the classical one, developed according to the RAD methodology and the MVC pattern, and the adaptive one, the design of which was carried out within the framework of a neural network architecture. As a result, a decrease in the cost (by 24.7%) and complexity (by 32.5%) of the EDMS implementation was achieved, and the adaptability of the system was increased (by 13.6%). There is also an improvement in its quality and an increase in productivity. The results obtained confirm the effectiveness of the proposed approaches and tools.

Keywords—neural network architecture, neural network technologies, design automation, electronic document management systems.

REFERENCES

- [1] Nemchinova E. A., Plotnikova N. P., Fedosin S. A. Podgotovka i obrabotka normativno-spravochnoj tekstovoj informacii dlya klassifikacii s pomoshch'yu iskusstvennyh nejronnyh setej //Nelinejnij mir. 2019. T. 17. №. 2. P. 27-33.
- [2] Solomencev YA. K., CHochia P. A. Primenenie nejronnyh setej dlya diagnostiki vida i parametrov iskazhenij izobrazheniya //Informacionnye processy. 2020. T. 20. №. 2. P. 95-103.
- [3] Vinokurov A. V. Parametricheskij metod obrabotki videoinformacii na osnove primeneniya nejronnyh setej kak mekhanizm adaptacii razmera izobrazhenij k propusknoj sposobnosti kanala svyazi //Promyshlennye ASU i kontrollery. 2017. №. 6. P. 36-39.
- [4] Kislicyn E. V., Panova M. V., ZHernakov R. S. Principy primeneniya nejrosetevykh tekhnologij pri analize bol'shikh dannykh //Perspektivy nauki. 2017. №. 9. P. 7-10.
- [5] Vitenburg E. A. Arhitektura programmnoho kompleksa intellektual'noj podderzhki prinyatiya reshenij pri proektirovanii sistemy zashchity informacionnoj sistemy predpriyatiya //Vestnik kibernetiki. 2019. №. 4. P. 46-51.
- [6] Gajnullin R. N., Rahal Ya., Rizaev I.S., Sharnin L.M.. Prognozirovanie biznes-processov na osnove nejronnyh setej //Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2017. T. 20. №. 3. P. 121-124.
- [7] Danilov A. D., Mugatina V. M. Reshenie zadachi optimizacii regressionnogo testirovaniya s ispol'zovaniem nejrosetevogo podhoda //Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii. 2020. T. 8. №. 1. P. 35-36.
- [8] Obuhov A.D., Krasnyanskij M.N. Nejrosetevaya arhitektura informacionnyh sistem // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Matematika. Mekhanika. Komp'yuternye nauki. 2019. T. 29. Vyp. 3. P. 438-455.
- [9] Obukhov A., Krasnyanskiy M., Nikolyukin M. Algorithm of adaptation of electronic document management system based on machine learning technology //Progress in Artificial Intelligence. 2020. P. 1-17.
- [10] Krasnyanskiy M., Ostroukh A., Karpushkin S., Obukhov A. Formulation of the Problem of Structural and Parametric Synthesis of Electronic Document Management System of Research and Education Institution //Global Journal of Pure and Applied Mathematics. 2016. T. 12. №. 3. P. 2395-2409.
- [11] Stefanova N. A., Kurbangeldyev D. Ocenka stoimosti razrabotki programmnoho obespecheniya //Aktual'nye voprosy sovremennoj ekonomiki. 2020. №. 1. P. 67-72.
- [12] Yakovlev Yu. S., Kurzanceva L. I. O razvitii adaptivnogo cheloveko-mashinnogo interfejsa i kriteriyah ego ocenki v uchebnyh sistemah //Obrazovatel'nye tekhnologii i obshchestvo. 2013. T. 16. №. 1. P. 547-563.
- [13] Bastien J. M. C., Scapin D. L. Evaluating a user interface with ergonomic criteria // International Journal of Human -Computer Interaction, 1995. T. 7. №. 2. P. 105-121.
- [14] Lipaev V. V. Kachestvo krupnomasshtabnyh programmnyh sredstv. Directmedia, 2015. 231 p.
- [15] Burdyko T. G., Bushmeleva K. I. Pokazateli kachestva programmnyh sredstv //Vestnik kibernetiki. 2019. №. 1. P. 60-66.
- [16] Azhmuhamedov I. M., Knyazeva O. M. Kompleksnyj kriterij ocenki kachestva informacionnyh sistem //Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk. 2017. №. 4-6. P. 14-17.
- [17] Bulanov V. A., Fomichyova O. E. Sovremennye problemy ocenki proizvoditel'nosti informacionnyh sistem //Promyshlennye ASU i kontrollery. 2020. №. 1. P. 49-54.

Obukhov Artem Dmitrievich, Ph.D., Associate Professor of the Department of Automated Decision Support Systems, TSTU, Tambov, Russia; ORCID 0000-0002-3450-5213 (e-mail: obuhov.art@gmail.com).