

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 004.42



DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-4-80-86

Оригинальная статья /Original article

**Разработка программного модуля автоматической коррекции чертежей,
полученных в результате обмена графическими данными между
CAD-системами, на примере мебельного производства**
А.В. Калинин, А.Ю. Аликов, Т.А. Юрошева
Северо – Кавказский горно-металлургический институт
(Государственный технологический университет),
362021, Россия, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, Россия

Резюме. Цель. При проектировании сложных объектов, а также при необходимости выполнения операций экспорта-импорта между различными системами автоматизированного проектирования достаточно актуальной становится задача автоматической коррекции чертежей. Целью исследования является разработка программного модуля для автоматической коррекции чертежей в системе AutoCAD, необходимость которой обусловлена такими причинами, как: использование разных форматов файлов для хранения чертежей различными САПР, сложность чертежей. **Метод.** В рамках проведенного исследования были использованы методы геометрического моделирования, аналитической геометрии и графического представления результатов. **Результат.** Разработаны алгоритмы автоматической коррекции параметров положения и начертания фрагментов чертежа в системе AutoCAD, имеющие сложность $O(n)$ и $O(n^2)$. **Вывод.** Анализ функциональных возможностей разработанного модуля позволяет утверждать, что его использование способствует уменьшению временных затрат при коррекции в системе AutoCAD чертежей, полученных в результате импорта из других CAD-систем, а также повышению качества конструкторской документации.

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, Visual Lisp, AutoCAD, DXF-формат

Для цитирования: А.В. Калинин, А.Ю. Аликов, Т.А. Юрошева. Разработка программного модуля автоматической коррекции чертежей, полученных в результате обмена графическими данными между CAD-системами, на примере мебельного производства. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(4):80-86. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-4-80-86

**Software module for automatic correction of drawings obtained as a result of graphic data
exchange between CAD systems, using the furniture production example**

A.V. Kalinichenko, A.Yu. Alikov, T.A. Yurosheva

North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University)
44 Nikolaeva St., Vladikavkaz 362021, Russia

Abstract. Objective. When designing complex objects, as well as when it is necessary to perform export-import operations between various computer-aided design systems, the task of automatic correction of drawings becomes quite relevant. Development of a software module for automatic correction of drawings in the AutoCAD system, the need for which is due to reasons such as: the use of different file formats for storing drawings by different CAD systems, the complexity of the drawings. **Method.** As part of the study, methods of geometric modeling, analytical geometry and graphical presentation of results were used. **Result.** Algorithms for automatic correction of parameters of position and outline of drawing fragments in the AutoCAD system have been developed, with complexity of $O(n)$ and $O(n^2)$. **Conclusion.** Analysis of the

functionality of the developed module allows us to assert that its use will reduce the time spent when correcting drawings obtained as a result of import from other CAD systems in the AutoCAD system, and improve the quality of design documentation.

Keywords: computer-aided design system, Visual Lisp, AutoCAD, DXF format

For citation: A.V. Kalinichenko, A.Yu. Alikov, T.A. Yurosheva. Software module for automatic correction of drawings obtained as a result of graphic data exchange between CAD systems, using the furniture production example. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(4):80-86. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-4-80-86.

Введение. На рынке систем автоматизированного проектирования существуют программные продукты, заточенные под решение задач различных отраслей производства, в том числе и мебельного. Обмен информацией между CAD-системами является важным аспектом работы инженеров. Необходимость выполнения процедур экспорта-импорта может быть обусловлена особенностями организации производства, например, работа с внешними партнерами или использование аутсорсинга, реализация проектов, в которых участвуют несколько организаций или подразделений, что требует обмена данными с системами, которые могут иметь разные стандарты и форматы.

Отметим наиболее распространенные форматы файлов, используемых для обмена данными между CAD-системами. DWG - формат, разработанный компанией Autodesk для ее программного обеспечения AutoCAD, DXF - формат файла, разработанный также компанией Autodesk, но уже для обмена данными между AutoCAD и другими программными продуктами. Международный стандарт STEP позволяет обеспечить обмен данными о геометрии, размерах и свойствах деталей и сборок. IGES - формат обмена данными, который поддерживает геометрию, разрезы и чертежи. Отметим также формат STL, часто использующийся для представления трехмерной геометрии контексте 3D-печати.

Большинство CAD-систем предоставляет функции импорта и экспорта данных в различных форматах. Однако не все CAD-системы полностью совместимы друг с другом, и иногда может потребоваться конвертация данных или использование дополнительных инструментов для обеспечения корректного обмена информацией, например, с помощью API (Application Programming Interface), позволяющего взаимодействовать с другим программным обеспечением на более низком уровне. Ряд систем автоматизированного проектирования предоставляют широкие возможности для разработки собственных программных модулей, расширяющих их функционал. Так, примеры адаптации AutoCAD под прикладные задачи пользователей рассмотрены в работах [1-3].

Расширение функционала системы автоматизированного проектирования на примере мебельного производства может включать в себя следующие аспекты:

1. Автоматизация чертежей: создание скриптов для быстрого построения деталей мебели, таких как столешницы, ножки, дверцы и т. д.
2. Генерация отчетов: автоматическое создание отчетов о количестве деталей, материалов и других данных, необходимых для производственного процесса.
3. Оптимизация раскроя: разработка скриптов для расчета оптимального раскроя материалов, что позволит минимизировать отходы и снизить затраты.
4. Интеграция с системами управления данными: создание скриптов для обмена данными между CAD-системой и системами управления данными (ERP, PDM и т. д.), что обеспечит более эффективное управление проектами и производством.
5. Создание пользовательских инструментов: разработка специализированных инструментов и функций, адаптированных к специфическим потребностям мебельного производства.

Постановка задачи. В настоящей работе рассмотрены вопросы, связанные с автоматической коррекцией в системе AutoCAD чертежей, полученных в результате импорта из системы автоматизированного проектирования SolidWorks.

Анализ показал, что сложности при экспорте и импорте чертежей между различными системами автоматизированного проектирования обусловлены такими причинами, как:

- использование разных форматов файлов для хранения чертежей различными САПР. Нужно отметить, что каждый формат имеет свои особенности и ограничения, что может вызвать проблемы при импорте или экспорте чертежей;
- использование проприетарных форматов. Ряд систем автоматизированного проектирования имеют собственные форматы файлов, которые могут не поддерживаться другими системами, что, в свою очередь, может потребовать дополнительных действий для преобразования чертежей в другие форматы;
- сложность чертежей. Сложные чертежи могут содержать специфические объекты, стили, слои или информацию о свойствах, которые могут не поддерживаться в других системах, это также может вызвать трудности при импорте и экспорте таких чертежей.

В исследовании [4] представлены результаты тестов совместимости между системами, основанных на проверке геометрических моделей и их атрибутов после импорта/экспорта 2D и 3D объектов с использованием распространенных форматов обмена данными. Тесты и анализ проводились в выбранных форматах в зависимости от типа объекта, таких как 2D-объекты (DXF), твердые объекты (IGES, STEP, SAT и PARASOLID) и поверхностные объекты (IGES, STEP, SAT и X_T). Результаты исследования подтверждают необходимость постоянного развития систем CAD/CAE, поскольку текущие форматы не являются эффективными на 100%. Обозначенные выше факторы определили целесообразность проведения исследования, целью которого является разработка программного модуля для автоматической коррекции чертежей в системе AutoCAD, что позволит уменьшить временные затраты при коррекции чертежей, полученных в результате импорта из других CAD-систем, а также повысить качество конструкторской документации.

Методы исследования. В рамках проведенного исследования были использованы методы геометрического моделирования, аналитической геометрии и графического представления результатов.

Функционал программного модуля. Анализ чертежей, импортируемых в AutoCAD из системы автоматизированного проектирования SolidWorks, выявил необходимость внесения изменений в чертежи перед их дальнейшей передачей для разработки программ для станков с ЧПУ. С целью сокращения временных затрат при коррекции чертежей, а также повышения качества конструкторской документации разработан программный модуль, включающий в себя следующий функционал:

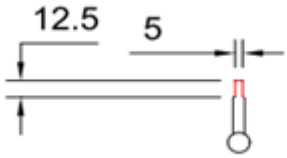
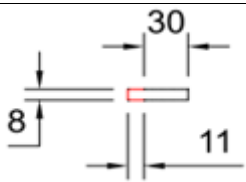
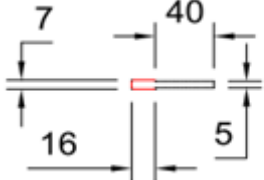
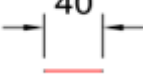
- алгоритм изменения у графических примитивов таких свойств как: тип и толщина линий и т.д.;
- алгоритм перемещения графических примитивов на новый слой с автоматическим созданием этого слоя;
- алгоритм построения графических примитивов «POLYLINE» с заменой участков, созданных с помощью нескольких примитивов «LINE»;
- алгоритм идентификации и замены некоторых фрагментов чертежа, на условные обозначения.

Примеры фрагментов чертежа, которые необходимо идентифицировать и заменять в импортированных чертежах, показаны в табл. 1. Дадим краткое описание реализованного функционала программного модуля. Разработка модулей для системы AutoCAD может быть выполнена с использованием различных языков программирования и библиотек, в том числе предоставляемых Autodesk. Например, Visual LISP - расширение языка AutoLISP, разработанного специально для AutoCAD, которое предоставляет интегрированную среду разработки (IDE) для более быстрой и эффективной разработки приложений AutoCAD. Набор библиотек ObjectARX на уровне базы данных позволяет создавать поль-

зовательские объекты, команды и системные функции, которые могут быть интегрированы в среду AutoCAD.

Таблица 1. Примеры фрагментов чертежа, подлежащих идентификации и замене в импортированных чертежах

Table 1. Examples of drawing fragments to be identified and replaced in imported drawings

Фрагменты чертежа, которые необходимо идентифицировать Drawing fragments that need to be identified	На что требуется заменить What needs to be replaced
	
	
	

Стоит отметить, что AutoCAD предоставляет API для .NET Framework, который позволяет разработчикам создавать приложения на основе .NET, используя такие языки программирования, как C# или VB.NET. Этот API предоставляет доступ к функциям AutoCAD на более высоком уровне абстракции, чем ObjectARX.

Учитывая, что обозначенные выше основные виды требующихся правок связаны с изменением информации о примитивах, было решено выбрать интегрированную среду разработки Visual LISP для разработки модуля. Удобный доступ к примитивам чертежа позволяет получить использование DXF кодов. Например, в работе [5] рассмотрены вопросы разработки алгоритмического обеспечения автоматической коррекции линейных размерных обозначений, устанавливаемых в описаниях конструкторских чертежей деталей, форма и параметры которых изменяются в соответствии со значениями, задаваемыми конструктором с целью получения модифицированных образов при разработке новых вариантов изделий. В основу корректировки положено использование сеточной параметрической модели исходного чертежа детали прототипа, представленного в векторном виде в DXF-файле.

Авторами работы [6] предложен универсальный алгоритм преобразования геометрических моделей в параметрические, базирующийся на анализе DXF-файлов. В работе [7] описан алгоритм автоматической корректировки описания осевых полилиний симметрии деталей постоянной ширины, имеющих изогнутую форму, реализация которого основывается на выполнении последовательности операций над описанием каждого сегмента полилинии симметрии исходного DXF- файла чертежа. DXF файлы содержат информацию о примитивах, таких как линии, круги, полилинии и другие объекты, которые используются для создания чертежей в AutoCAD. Использование DXF кодов позволяет представить всю информации, содержащуюся в файле чертежа AutoCAD, в виде помеченных данных. Формат помеченных данных означает, что перед каждым элементом данных в файле ставится целое число, которое называется групповым кодом. Значение группового кода указывает на тип следующего за ним элемента данных. Это значение также указывает значение элемента данных для данного типа объекта (или записи). Практически

вся заданная пользователем информация в файле чертежа может быть представлена в формате DXF. Пример DXF-кода для полилинии показан на рис. 1.

```
((-1 . <Имя объекта: 7ffffb19880>) (0 . "LWPOLYLINE") (330 . <Имя объекта: 7ffffb069f0>)
(5 . "2C58") (100 . "AcDbEntity") (67 . 0) (410 . "Model") (8 . "0") (100 .
"AcDbPolyline") (90 . 5) (70 . 0) (43 . 0.0) (38 . 0.0) (39 . 0.0) (10 3085.73 -3967.35)
(40 . 0.0) (41 . 0.0) (42 . 0.0) (91 . 0) (10 4188.25 -3967.35) (40 . 0.0) (41 . 0.0)
(42 . 0.0) (91 . 0) (10 4188.25 -4575.84) (40 . 0.0) (41 . 0.0) (42 . 0.0) (91 . 0) (10
3038.48 -4575.84) (40 . 0.0) (41 . 0.0) (42 . 0.0) (91 . 0) (10 3038.48 -4208.65) (40 .
0.0) (41 . 0.0) (42 . 0.0) (91 . 0) (210 0.0 0.0 1.0))
```

Рис. 1. Пример DXF-кода для полилинии

Fig. 1. Example of DXF code for a polyline

Фактически для выполнения любой из операций, обозначенных выше, прежде всего требуется уметь идентифицировать фрагменты чертежа. Для фрагментов, состоящих из одного примитива, эта задача не представляет сложности и решается с помощью функции фильтрации с указанием нужного значения DXF-кода и кодов, задающих, например, радиус окружности или координаты начала и конца линии. Если же фрагмент состоит из нескольких примитивов, то процедура идентификации этих фрагментов чертежа осложняется тем, что они не являются блоками, а также могут быть расположены под разными углами. Поэтому для однозначной идентификации обозначенных в табл.1 фрагментов чертежа был использован аппарат аналитической геометрии, в частности, формулы поворота для описания преобразования координат точек на плоскости при повороте системы координат на определенный угол, формулы для проверки перпендикулярности прямых и принадлежности точек одной прямой.

После успешной идентификации фрагментов им могут быть изменены с помощью DXF-кодов такие свойства, как слой, тип и толщина линий и т.д. Также эти фрагменты могут быть удалены из чертежа и вместо них программно добавлены в чертёж новые обозначения, необходимые проектировщику. На рис. 2 продемонстрированы результаты работы алгоритма автоматической идентификации и замены фрагментов чертежа: слева показан импортированный фрагмент чертежа, а справа - результат, полученный после автоматической замены.

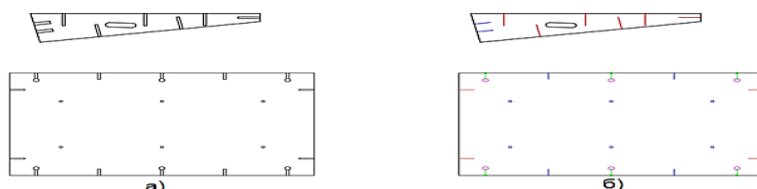


Рис. 2. Результаты работы модуля: а) импортированный фрагмент чертежа,

б) результат, полученный после автоматической коррекции

Fig. 2. Results of the module's work: a) imported drawing fragment,

b) result obtained after automatic correction

В некоторых случаях после импорта вместо одного отрезка с началом в точке P_{Start} , концом в точке P_{end} и углом наклона относительно положительного направления оси OX , равным α , появлялось несколько отрезков $line_i$, $i=1,...,n$, с началом в точке P_{start_i} , концом в точке P_{end_i} и углом наклона относительно положительного направления оси OX , равным α , для которых:

$$\begin{aligned} P_{end_{i-1}} &= P_{start_i} \text{ для любого } i=2,...,n, \\ P_{start_1} &= P_{Start}, \\ P_{end_n} &= P_{end}. \end{aligned}$$

Рассмотрим основные шаги алгоритма, позволяющего идентифицировать в чертеже отрезки $line_i$, $i=1,...,n$, удовлетворяющие обозначенным выше условиям, заменить их на один отрезок.

Шаг 1. Выявляются все графические примитивы чертежа, соответствующие отрезкам, то есть в DXF-списках которых для DXF-кода 0 указано значение «LINE».

Шаг 2. Для каждого выявленного отрезка в его DXF-списке определяются координаты начала и конца (они имеют DXF-код 10 и 11 соответственно).

Шаг 3. В цикле по выявленным примитивам отрезков путем попарного сравнения координат точек начала и конца определяем пары отрезков $line_i$ и $line_j$, у которых совпадают координаты одной из конечных точек (обозначим координаты этой точки через p , координаты другого конца $line_i$ - через p_1 , для $line_j$ - через p_2) и совпадает угол наклона этих отрезков относительно положительного направления оси ОХ.

Шаг 4. В DXF-списке отрезка $line_i$ в точечной паре, соответствующей точке p (она будет иметь DXF-код, равный 10 или 11), заменяем координаты точки p на координаты точки p_2 .

Шаг 5. Отрезок $line_j$ удаляем.

В ряде случаев в полилиниях появлялись «лишние» вершины, в которых не происходило изменение угла звена ломаной по сравнению с углом наклона относительно положительного направления оси ОХ предыдущего звена той же ломанной. Также наблюдался следующий дефект: отрезки, которые должны были быть звеньями одной ломанной, фактически являлись отдельными отрезками, имеющими тип «LINE». Был разработан модуль, который позволяет обнаружить на чертеже обозначенные выше дефекты, и автоматически заменить их на один примитив «POLYLINE», рассчитав необходимое количество звеньев ломаной и значения их координат. На рис. 3(а) показан пример чертежа, в котором внешний контур образован из отдельных девяти примитивов «LINE», после преобразования внешний контур представляет собой замкнутую полилинию, как показано на рис. 3(б).

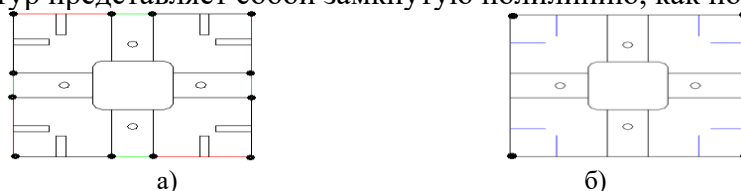


Рис. 3. Пример преобразования полилиний: а) внешний контур образован из отдельных девяти примитивов «LINE», б) внешний контур представляет собой замкнутую полилинию

Fig. 3. Example of polyline transformation: а) the outer contour is formed from nine separate “LINE” primitives, б) the outer contour is a closed polyline

Обсуждение результатов. Разработанные алгоритмы имеют сложность $O(n)$ и $O(n^2)$ и позволяют существенно снизить временные затраты на корректировку чертежей, связанную с несовершенством процедур экспорта-импорта между SolidWorks и AutoCAD и специфическими потребностями компаний мебельного производства.

Относительно масштабируемости предлагаемого решения можно отметить следующее. Существует ряд CAD систем, поддерживающих язык VisualLisp или AutoLisp, например, BricsCAD или NanoCAD. BricsCAD, как современная и многофункциональная CAD-платформа, поддерживает расширение функциональности через различные языки программирования, включая Visual LISP. Однако, важно понимать, что поддержка Visual LISP в BricsCAD может быть не полной и не все функции и команды AutoCAD, используемые в LISP-скриптах, могут быть доступны в BricsCAD. Система автоматизированного проектирования NanoCAD также поддерживает некоторые функции AutoLISP. Однако, как и в случае с BricsCAD, программы, написанные на AutoLISP, могут быть частично совместимы с NanoCAD. Следует отметить, что NanoCAD имеет свои собственные API и возможности для расширения функциональности.

Вывод. Предложен алгоритм автоматической коррекции параметров положения и начертания фрагментов чертежа, обозначенных заказчиком. В соответствии с представленным алгоритмом возможна разработка алгоритмов, позволяющих автоматически модифицировать обозначения других типов. Анализ функциональных возможностей разработанного модуля позволяет утверждать, что его использование позволит уменьшить временные затраты при коррекции чертежей, полученных в результате импорта из других CAD-систем, повысить качество конструкторской документации.

Библиографический список:

1. Юрошева Т.А., Калининченко А.В., Макиев В.Г. Алгоритм проектирования несущих конструкций многоэтажного здания с использованием визуального программирования DYNAMO STUDIO//Вестник Дагестанского государственного технического университета. 126-133. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-4-126-133.
2. Калининченко А.В. О расширении функциональности системы AutoCAD на примере автоматизации проектирования водоснабжения жилых зданий//Наука и бизнес:пути развития. 2016. № 6(60). С.12-15.
3. Калининченко А.В. Автоматизированное проектирование сетей внутреннего водоотведения с применением системы AutoCAD // Инженерный вестник Дона. 2017. № 3 (46). С. 105.
4. Kuryło P., Frankovský P., Malinowski M., Maciejewski T., Varga J., Kostka J., Adrian Ł., Szufa S., Rusnáková S. Data Exchange with support for the neutral processing of formats in computer-aided design/computer-aided manufacturing systems//Applied Sciences (Switzerland). 2023;13(17):9811. <https://doi.org/10.3390/app13179811>
5. Мусаид А.М.О., Лячек Ю.Т., Мустафа А.Б.М. Алгоритмическое обеспечение коррекции линейных размерных обозначений при модификации чертежей // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. 2018. Т. 1. С. 681-683.
6. Барабанов В.Ф., Гребенникова Н.И., Нужный А.М., Сафронов В.В. Разработка модуля параметрического построения моделей на базе AutoCAD // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2017. № 3. Т. 13. С. 12-19.
7. Лячек Ю.Т., Мустафа А.Б.М. Алгоритм модификации осей симметрии деталей, описываемых полилиниями // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: естественные и технические науки. 2019. №5. С. 86-91.

References:

1. Yurosheva T.A., Kalinichenko A.V., Makiev V.G. Algorithm for designing load-bearing structures of a multi-story building using the DYNAMO STUDIO visual programming environment. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2022; 49(4):126-133. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-4-126-133. (In Russ)
2. Kalinichenko A.V. On expanding the functionality of the AutoCAD system using the example of automating the design of water supply for residential buildings. *Science and business: development paths*. 2016;. 6 (60);12-15. (In Russ)
3. Kalinichenko A.V. Automated design of internal water drainage networks using the AutoCAD system. *Engineering Bulletin of the Don*. 2017;3 (46):105. (In Russ)
4. Kuryło P., Frankovský P., Malinowski M., Maciejewski T., Varga J., Kostka J., Adrian Ł., Szufa S., Rusnáková S. Data Exchange with support for the neutral processing of formats in computer-aided design/computer-aided manufacturing systems. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2023;13(17):9811. <https://doi.org/10.3390/app13179811>
5. Musaid A.M.O., Lyachek Yu.T., Mustafa A.B.M. Algorithmic support for the correction of linear dimensional designations when modifying drawings. *International Conference on Soft Computing and Measurements*. 2018;1 681-683. (In Russ)
6. Barabanov V.F., Grebennikova N.I., Nuzhny A.M., Safronov V.V. Development of a module for parametric construction of models based on AutoCAD. *Bulletin of the Voronezh State Technical University*. 2017; 31. (3):12-19. (In Russ)
7. Lyachek Yu.T., Mustafa A.B.M. Algorithm for modifying the axes of symmetry of parts described by polylines. *Modern science: current problems of theory and practice. Series: natural and technical sciences*. 2019;5: 86-91. (In Russ)

Сведения об авторах:

Калининченко Алла Викторовна, кандидат технических наук, доцент; kalinichenkoalla@mail.ru

Аликов Алан Юрьевич, кандидат технических наук, доцент; alan@alikov.ru

Юрошева Татьяна Александровна, кандидат технических наук, доцент; trini-83@yandex.ru

Information about authors:

Alla V. Kalinichenko, Cand. Sci. (Eng.), Assoc.Prof., kalinichenkoalla@mail.ru

Alan Yu. Alikov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.; alan@alikov.ru

Tatiana A. Yurosheva, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., trini-83@yandex.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 11.06.2024.

Одобрена после рецензирования/ Revised 20.08.2024.

Принята в печать/Accepted for publication 30.11.2024.